

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FERNANDO BUNN

**AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO SONORA GERADA PELO TRÁFEGO FERROVIÁRIO
NA CIDADE DE CURITIBA**

CURITIBA

2013

FERNANDO BUNN

**AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO SONORA GERADA PELO TRÁFEGO FERROVIÁRIO
NA CIDADE DE CURITIBA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Ing – Paulo Henrique Trombetta Zannin

CURITIBA

2013

TERMO DE APROVAÇÃO

FERNANDO BUNN

“AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO SONORA GERADA PELO TRÁFEGO FERROVIÁRIO NA CIDADE DE CURITIBA”

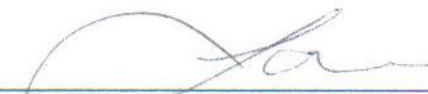
Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela comissão formada pelos professores:

PRESIDENTE:



Paulo Henrique Trombetta Zannin
Universidade Federal do Paraná
Orientador

MEMBROS:



Samir Nagi Y. Gerges
Universidade Federal de Santa Catarina



Cristovão Vicente S. Fernandes
Universidade Federal do Paraná

Curitiba, 04 de março de 2013

*Como estuda este meu neto, se continuar
assim, ainda vai ser presidente do Brasil!*

Vilibaldo José Hoffmann (Vô Vile)

AGRADECIMENTOS

A Deus, o meu grande agradecimento pelo dom da vida e proteção.

Ao Professor Dr-Ing Paulo Henrique Trombetta Zannin, pela orientação, atenção, apoio, dedicação, confiança e paciência.

Ao Professor Eduardo Felga Gobbi, por me incentivar a fazer a pós-graduação, mesmo nos momentos de adversidades.

Aos meus pais, Luiz Carlos Bunn e Ana Maria Hoffmann Bunn, e irmãos, Marcelo Bunn e Juliana Bunn, pelo apoio, confiança, carinho, fé em mim depositada, além do incentivo nos momentos mais difíceis.

Ao meu amigo Paulo Eduardo Kirrian Fiedler pela amizade, paciência e companheirismo, valores e gestos que nunca serão esquecidos.

A Melina Nagata Beltrane, pelo apoio, atenção, carinho e extrema paciência em todos os momentos dessa jornada.

A todos os meus queridos amigos e amigas que passaram pelo Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico (LAAICA) e colaboraram em cada uma das etapas deste trabalho.

Ao David Queiroz de Sant'Ana pela amizade e ajuda desde a iniciação científica.

Aos meus amigos da graduação, pós-graduação e demais colegas que de alguma forma contribuíram no desenvolvimento do trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pelo apoio e confiança durante todo este período.

Aos funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, em especial ao Celmar (secretário), pela disposição e ajuda nos momentos necessários.

Ao CNPq, à Fundação Araucária, ao DAAD (Serviço de Intercâmbio Alemão) e à FINEP, pelo apoio financeiro referente à compra dos equipamentos e softwares de acústica necessários ao desenvolvimento da pesquisa.

RESUMO

As ferrovias que passam pela cidade de Curitiba cumpriram um importante papel no desenvolvimento do Estado do Paraná. Na época o traçado era condizente com a cidade, mas hoje é incompatível com a ocupação urbana e o adensamento da Região Metropolitana (SILVA, 2009). Atualmente, a cidade de Curitiba possui 2 grandes ramais ferroviários: Ramal Jardim Botânico e o Ramal Rio Branco do Sul. Devido à grande interação com a malha urbana, a presença da linha férrea causa diversos problemas à população próxima à via, como a poluição sonora. Sabendo da problemática em questão, o objetivo do estudo é o de quantificar o problema ambiental ocasionado pelo ruído ferroviário na capital paranaense e propor possíveis alternativas. O estudo foi elaborado através de medições e mapeamentos acústicos nos dois ramais ferroviários da cidade. Ao todo foram avaliadas 26 das 48 passagens de nível existentes na cidade. Em cada ponto avaliado as medições foram subdivididas em: 1) Situação A – Medição da passagem do trem com acionamento da buzina; 2) Situação B – Medição com a passagem do trem sem buzinar; e 3) Situação C – Medição do ruído ambiente sem a passagem do trem. Segundo as medições realizadas em ambos os ramais, todos os pontos da situação A e da situação B estão acima dos níveis sonoros permitidos pela legislação municipal 10.625/02. Além das medições, foram calculados mapas de ruído para uma visualização global do ruído gerado pelo trem. Pelos mapeamentos acústicos, foi observado que as regiões próximas às passagens de nível são as mais impactadas, pois antes dos cruzamentos da via férrea com as vias urbanas ocorre o acionamento da buzina do trem (em uma distância total de 100 metros). Após os resultados obtidos das medições e mapeamentos acústicos, ficou evidenciado que o tráfego de trens, nos trechos urbanos estudados, produz um impacto ambiental que resulta em níveis de poluição sonora inadequados às pessoas que vivem ou trabalham próximas às vias férreas. Estes resultados demonstram que são necessárias medidas de controle para diminuição dos níveis sonoros. A partir disto, foram apresentadas 3 alternativas para o controle da poluição sonora gerada pelo tráfego ferroviário: 1) A exclusão da buzina; 2) A inserção de barreiras acústicas; e 3) A retirada do trem através do contorno ferroviário. Como a avaliação do ruído ferroviário na cidade de Curitiba foi realizada em muitos pontos, para uma melhor análise, a avaliação das medidas foi realizada para 2 locais de grande importância: 1) Ponto 1 do Ramal Jardim Botânico – local onde estão inseridos dois grandes hospitais (Hospitais Cajuru e Marcelino Champagnat) e 2) Pontos 4 e 5 do Ramal Jardim Botânico – local onde se encontra o Colégio Estadual Professora Maria Aguiar Teixeira. Os resultados mostraram que mesmo com a aplicação de apenas uma das medidas de controle de ruído, nos locais em estudo, os níveis sonoros ainda estão acima dos valores limites estabelecidos pela legislação municipal.

Palavras-chave: Ruído ferroviário, medições, mapeamentos acústicos, medidas de controle de ruído.

ABSTRACT

The railroads that cross the city of Curitiba played an important role in the development of the State of Paraná. At that time, the track was consistent with the city; today it is incompatible with the urban occupation and densification of the Metropolitan Area (SILVA, 2009). Currently, the city of Curitiba has two major railway branches: Botanical Garden and Rio Branco do Sul. Due to the high interaction with the urban network, the presence of the railway causes many problems to the population living next to the track, such as noise pollution. With this concern, this study aimed to quantify the environmental problem caused by railway noise in Curitiba and propose possible alternatives. The study was based on acoustic measurements and mappings in the two railway branches of the city. Altogether, 26 of the 48 level crossings were assessed. Measurements made at each point were subdivided into: 1) Situation A - measuring train passage & triggering horn; 2) Situation B - Measuring train passage with no triggering horn and 3) Situation C – Measuring environmental noise with no train passage. According to measurements made in both branches, all points in situation A and situation B are above the noise levels permitted by municipal law 10.625/02. In addition to measurements, noise maps were calculated for a global view of the noise generated by trains. Noise mappings revealed that level crossing vicinity was the most impacted area as train horns are triggered before railroad crosses urban ways in the region (for a total distance of 100 meters). Measurement and noise mapping results also revealed that the train traffic in the urban stretches studied produces an environmental impact that leads to inadequate levels of noise, which is a nuisance for people who live or work near the railway tracks. These results demonstrate that control measures are needed to decrease noise levels. After this finding, we presented three alternatives for the control of railway-generated noise pollution: 1) Horn deactivation; 2) Insertion of noise barriers, and 3) Withdrawal of trains throughout the railway boundary. As the assessment of railway noise in the city of Curitiba was carried out at many points, for a better analysis a measure evaluation was performed for 2 sites of high relevance: 1) Point 1, Botanical Garden Branch - where two large hospitals (Cajuru Hospital and Marcellino Champagnat Hospital) can be found; and 2) Points 4 and 5, Botanical Garden Branch - where the State School Professor Maria Aguiar Teixeira is located. Results showed that even after application of one single measure to control noise at the locations under study, sound levels are still above the limits established by municipal legislation.

Keywords: Railway noise, measurements, noise maps, control measures.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - FONTES PONTUAIS E FONTES EM LINHA	26
FIGURA 2 - LIMITES DE RUÍDO DAS NOVAS E REFORMADAS LINHAS FERROVIÁRIAS (L_{Aeq})	32
FIGURA 3 - PORCENTAGEM DE PESSOAS INCOMODADAS COM O AUMENTO DOS NÍVEIS SONOROS	37
FIGURA 4 - PIRÂMIDE DE EFEITOS DO RUÍDO (SEVERIDADE X NÚMERO DE PESSOAS AFETADAS).....	40
FIGURA 5 - EFEITOS NEGATIVOS RELACIONADOS AO RUÍDO	40
FIGURA 6 - COMPRIMENTO TOTAL DA REDE FERROVIÁRIA	41
FIGURA 7 - MAPA DO SISTEMA FERROVIÁRIO NACIONAL.....	43
FIGURA 8 - INÍCIO DA CONSTRUÇÃO DA FERROVIA CURITIBA-PARANAGUÁ	45
FIGURA 9 - TREM DE CARGA COM DESTINO AO PORTO DE PARANAGUÁ.....	46
FIGURA 10 - LIGAÇÕES FERROVIÁRIAS EM CURITIBA	47
FIGURA 11 - VOLUME DE CARGAS NO RAMAL JARDIM BOTÂNICO.....	48
FIGURA 12 - VOLUME DE CARGAS NO RAMAL RIO BRANCO DO SUL	48
FIGURA 13 - PASSAGENS DE NÍVEL EM CURITIBA	49
FIGURA 14 - ACIDENTES FERROVIÁRIOS.....	52
FIGURA 15 - ESQUEMA FONTE-CAMINHO-RECEPTOR	52
FIGURA 16 - FONTES SONORAS DO RUÍDO FERROVIÁRIO E A DEPENDÊNCIA COM A VELOCIDADE DO TREM	54
FIGURA 17 - BUZINA DE UMA LOCOMOTIVA	55
FIGURA 18 - MEDIDAS DE SINALIZAÇÃO NAS PASSAGENS DE NÍVEL	55
FIGURA 19 - RUÍDO DE UMA BUZINA DE TREM CONVENCIONAL	57
FIGURA 20: PORCENTAGEM DE INTERFERÊNCIA DA BUZINA DO TREM NAS ATIVIDADES DIÁRIAS.....	58
FIGURA 21 - GEOMETRIA CRÍTICA DE CRUZAMENTO	59
FIGURA 22 - EXEMPLOS DE BUZINAS DE TREM.....	60
FIGURA 23 - POSSÍVEIS ALTERNATIVAS PARA O CONTORNO FERROVIÁRIO E TRECHOS QUE SERÃO DESATIVADOS.....	62

FIGURA 24 - BARREIRA RETA COBRINDO UM ÂNGULO DE 160°	64
FIGURA 25 - BARREIRA CURVA COBRINDO UM ÂNGULO DE 160°	65
FIGURA 26 - EXEMPLOS DE BARREIRAS ACÚSTICAS.....	65
FIGURA 27 - MAPEAMENTOS ACÚSTICOS REALIZADOS PELO SOFTWARE SOUNDPLAN.....	68
FIGURA 28 - MAPEAMENTOS ACÚSTICOS REALIZADOS PELO SOFTWARE SOUNDPLAN EM FULTON COUNTY, GEORGIA, USA.	69
FIGURA 29 - MAPEAMENTOS ACÚSTICOS REALIZADOS PELO SOFTWARE SOUNDPLAN EM ARACAJU, SERGIPE, BRAZIL.....	69
FIGURA 30 - MAPEAMENTOS ACÚSTICOS REALIZADOS PELO SOFTWARE SOUNDPLAN NA CIDADE DE CHUNGJU, COREIA DO SUL.....	70
FIGURA 31 - PONTOS DE MEDIÇÃO NO RAMAL JARDIM BOTÂNICO.....	78
FIGURA 32 - PASSAGEM DE NÍVEL ENTRE A AVENIDA AFFONSO CAMARGO/PREFEITO MAURÍCIO FRUET E RUA GOVERNADOR AGAMENON MAGALHÃES	79
FIGURA 33 - PASSAGEM DE NÍVEL ENTRE A AVENIDA AFFONSO CAMARGO/PREFEITO MAURÍCIO FRUET E RUA JOSÉ RISSATO/ANTÔNIO OLÍVIO RODRIGUES/SANTO ANDRÉ.....	79
FIGURA 34 - PASSAGEM DE NÍVEL ENTRE A AVENIDA AFFONSO CAMARGO/PREFEITO MAURÍCIO FRUET E RUA GOVERNADOR AGAMENON MAGALHÃES.....	80
FIGURA 35 - PASSAGEM DE NÍVEL ENTRE A AVENIDA AFFONSO CAMARGO/PREFEITO MAURÍCIO FRUET E RUA PAULO KISSULA	80
FIGURA 36 - ZONEAMENTO PARA A REGIÃO ANALISADA	81
FIGURA 37 - PONTOS DE MEDIÇÃO NO RAMAL RIO BRANCO DO SUL	84
FIGURA 38 - PASSAGENS DE NÍVEL COM A AVENIDA PRESIDENTE AFFONSO CAMARGO, RUA FRANCISCO ALVES GUIMARÃES E AVENIDA SENADOR SOUZA NAVES.....	85
FIGURA 39 - PASSAGENS DE NÍVEL COM A RUA FERNANDO AMARO, RUA MARECHAL DEODORO E RUA XV DE NOVEMBRO	85

FIGURA 40 - PASSAGENS DE NÍVEL COM A AVENIDA PREFEITO ERASTO GAERTNER E RUA NICARÁGUA	86
FIGURA 41 - PASSAGENS DE NÍVEL COM A RUA CANADÁ, AVENIDA PARANÁ E RUA JOVINO DO ROSÁRIO	86
FIGURA 42 - ZONEAMENTO PARA A REGIÃO ANALISADA	87
FIGURA 43 - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA MEDIÇÃO DE RUÍDO E ANÁLISE. ...	89
FIGURA 44 - PONTOS DE MEDIÇÃO AO LONGO DA LINHA FÉRREA: A – PASSAGEM DO TREM COM ACIONAMENTO DA BUZINA; B – PASSAGEM DO TREM SEM ACIONAMENTO DA BUZINA; C – RUÍDO DO AMBIENTE SEM A PASSAGEM DO TREM.	90
FIGURA 45 - MEDIÇÕES DO RUÍDO FERROVIÁRIO	91
FIGURA 46 - MEDIÇÕES DO RUÍDO FERROVIÁRIO	92
FIGURA 47 - ETAPAS PARA REALIZAÇÃO DOS MAPEAMENTOS DE RUÍDO FERROVIÁRIO.	94
FIGURA 48 - ALTURAS DAS EDIFICAÇÕES NO MAPEAMENTO ACÚSTICO	95
FIGURA 49 - VISUALIZAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES EM 2 DIMENSÕES.	96
FIGURA 50 - VISUALIZAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES EM 3 DIMENSÕES.	96
FIGURA 51 - MAPEAMENTO ACÚSTICO REALIZADO PELO SOFTWARE PREDICTOR	97
FIGURA 52 - MAPEAMENTO ACÚSTICO EM 3D REALIZADO PELO SOFTWARE SOUNDPLAN.....	98
FIGURA 53 - MAPAS DE RUÍDO COM PONTOS RECEPTORES EM TODA A FACHADA	98
FIGURA 54 - POSSÍVEIS SOLUÇÕES PARA O NÃO ACIONAMENTO DA BUZINA DO TREM.....	101
FIGURA 55 - NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE PARA AS 3 SITUAÇÕES EM ESTUDO EM COMPARAÇÃO COM A LEI MUNICIPAL 10.625/02 – RAMAL JARDIM BOTÂNICO.	105
FIGURA 56 - AUMENTO DE CONSTRUÇÕES PRÓXIMAS À LINHA FÉRREA DO RAMAL JARDIM BOTÂNICO.	107

FIGURA 57 - NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE PARA AS 3 SITUAÇÕES EM ESTUDO EM COMPARAÇÃO COM A LEI MUNICIPAL 10.625/02 – RAMAL RIO BRANCO DO SUL.	110
FIGURA 58 - ESPECTRO DE FREQUÊNCIA DURANTE O ACIONAMENTO DA BUZINA DO TREM	112
FIGURA 59 - ESPECTRO DE FREQUÊNCIA DURANTE A PASSAGEM DO TREM	112
FIGURA 60 - ESPECTRO DE FREQUÊNCIA DO RUÍDO DE FUNDO (SEM A PASSAGEM DO TREM).....	113
FIGURA 61: PROXIMIDADE DA VIA FÉRREA COM A AVENIDA AFFONSO CAMARGO E AVENIDA PREFEITO MAURÍCIO FRUET.	115
FIGURA 62 - MAPEAMENTO ACÚSTICO NO PONTO 01 - RAMAL JARDIM BOTÂNICO	117
FIGURA 63 - MAPEAMENTO ACÚSTICO NOS PONTOS 02 E 03 - RAMAL JARDIM BOTÂNICO	118
FIGURA 64 - MAPEAMENTO ACÚSTICO NO PONTO 04 - RAMAL JARDIM BOTÂNICO	120
FIGURA 65 - MAPEAMENTO ACÚSTICO NO PONTO 05 - RAMAL JARDIM BOTÂNICO	121
FIGURA 66 - MAPEAMENTO ACÚSTICO NOS PONTOS 06 E 07 - RAMAL JARDIM BOTÂNICO	122
FIGURA 67 - MAPEAMENTO ACÚSTICO – TODOS OS PONTOS DO RAMAL JARDIM BOTÂNICO	124
FIGURA 68 - MAPEAMENTO ACÚSTICO NOS PONTOS 01 E 02 - RAMAL RIO BRANCO DO SUL.....	127
FIGURA 69 - MAPEAMENTO ACÚSTICO NOS PONTOS 03 E 04 - RAMAL RIO BRANCO DO SUL.....	128
FIGURA 70 - MAPEAMENTO ACÚSTICO NOS PONTOS 05, 06 E 07 - RAMAL RIO BRANCO DO SUL	130
FIGURA 71 - MAPEAMENTO ACÚSTICO NOS PONTOS 08, 09 E 10 - RAMAL RIO BRANCO DO SUL	131

FIGURA 72 - MAPEAMENTO ACÚSTICO NO PONTO 11 - RAMAL RIO BRANCO DO SUL.....	132
FIGURA 73 - MAPEAMENTO ACÚSTICO NO PONTO 12 - RAMAL RIO BRANCO DO SUL.....	133
FIGURA 74 - MAPEAMENTO ACÚSTICO NOS PONTOS 13, 14, 15, 16 E 17 - RAMAL RIO BRANCO DO SUL	134
FIGURA 75 - MAPEAMENTO ACÚSTICO NO PONTO 18 - RAMAL RIO BRANCO DO SUL.....	135
FIGURA 76 - MAPEAMENTO ACÚSTICO NO PONTO 19 - RAMAL RIO BRANCO DO SUL.....	137
FIGURA 77 - MAPEAMENTO ACÚSTICO – TODOS OS PONTOS DO RAMAL RIO BRANCO DO SUL	139
FIGURA 78 – MAPEAMENTO ACÚSTICO COM O ACIONAMENTO DA BUZINA (1 E 2) E CENÁRIO SEM O ACIONAMENTO DA BUZINA (3 E 4)	142
FIGURA 79 – MAPEAMENTO ACÚSTICO DE FACHADA DO HOSPITAL CAJURU E MARCELINO CHAMPAGNAT – CENÁRIO COM O ACIONAMENTO DA BUZINA (1 E 2) E CENÁRIO SEM O ACIONAMENTO DA BUZINA (3 E 4)	144
FIGURA 80 - MAPEAMENTO ACÚSTICO DE FACHADA DO COLÉGIO ESTADUAL MARIA AGUIAR TEIXEIRA – CENÁRIO COM O ACIONAMENTO DA BUZINA (1 E 2) E CENÁRIO SEM O ACIONAMENTO DA BUZINA (3 E 4)	145
FIGURA 81 – MAPEAMENTO ACÚSTICO SEM A INSERÇÃO DE UMA BARREIRA ACÚSTICA (1 E 2) E COM A INSERÇÃO DE UMA BARREIRA ACÚSTICA (3 E 4).....	147
FIGURA 82 – MAPEAMENTO ACÚSTICO DE FACHADA DO HOSPITAL CAJURU E MARCELINO CHAMPAGNAT – CENÁRIO SEM A INSERÇÃO DA BARREIRA ACÚSTICA (1 E 2) E CENÁRIO COM A BARREIRA ACÚSTICA (3 E 4)	149
FIGURA 83 - MAPEAMENTO ACÚSTICO DE FACHADA DO COLÉGIO ESTADUAL MARIA AGUIAR TEIXEIRA – CENÁRIO SEM A INSERÇÃO DA BARREIRA ACÚSTICA (1 E 2) E CENÁRIO COM A BARREIRA ACÚSTICA (3 E 4)	150
FIGURA 84 - MAPEAMENTO ACÚSTICO SEM O CONTORNO FERROVIÁRIO (1 E 2) E COM O CONTORNO FERROVIÁRIO (3 E 4)	152

FIGURA 85 – MAPEAMENTO ACÚSTICO DE FACHADA DO HOSPITAL CAJURU E MARCELINO CHAMPAGNAT – CENÁRIO SEM O CONTORNO FERROVIÁRIO (1 E 2) E CENÁRIO COM O CONTORNO FERROVIÁRIO (3 E 4)	154
FIGURA 86 - MAPEAMENTO ACÚSTICO DE FACHADA DO COLÉGIO ESTADUAL MARIA AGUIAR TEIXEIRA – CENÁRIO SEM O CONTORNO FERROVIÁRIO (1 E 2) E CENÁRIO COM O CONTORNO FERROVIÁRIO (3 E 4)	155
FIGURA 87 - DIMINUIÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS PARA OS PONTOS SENSÍVEIS EM FUNÇÃO DA MEDIDA DE CONTROLE UTILIZADA.....	158

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - NÍVEL DE CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO (NCA) PARA AMBIENTES EXTERNOS, EM dB(A)	34
TABELA 2 - LIMITES MÁXIMOS PERMISSÍVEIS DE RUÍDO – LEI MUNICIPAL 10.625/02 (L_{Aeq}).....	35
TABELA 3 - INVESTIMENTOS RECOMENDADOS EM INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES ATÉ 2023	42
TABELA 4 - PORCENTAGEM DO TOTAL DA CARGA TRANSPORTADA NO PAÍS POR MEIO DE TRANSPORTE.....	44
TABELA 5 - ACIDENTES NO RAMAL RIO BRANCO DO SUL.....	51
TABELA 6 - ACIDENTES NO RAMAL JARDIM BOTÂNICO	51
TABELA 7 - CARACTERÍSTICAS E REDUÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS DE UMA BARREIRA ACÚSTICA.....	63
TABELA 8 - INVESTIMENTOS DE PAÍSES EUROPEUS EM BARREIRAS ACÚSTICAS .	64
TABELA 9 - NÍVEIS SONOROS PERMITIDOS NO RAMAL JARDIM BOTÂNICO	82
TABELA 10 - NÍVEIS SONOROS PERMITIDOS NO RAMAL RIO BRANCO DO SUL	88
TABELA 11 - NÍVEIS SONOROS MEDIDOS AO LONGO E NO ENTORNO DA VIA FÉRREA – RAMAL JARDIM BOTÂNICO.....	104
TABELA 12 - NÍVEIS SONOROS MEDIDOS AO LONGO E NO ENTORNO DA VIA FÉRREA – RAMAL RIO BRANCO DO SUL (CONTINUA).....	108

TABELA 13 - COMPARAÇÃO ENTRE OS RAMAIS JARDIM BOTÂNICO E RIO BRANCO DO SUL.....	114
TABELA 14 - COMPARAÇÃO ENTRE OS NÍVEIS SONOROS MEDIDOS E SIMULADOS DA SITUAÇÃO ATUAL (PASSAGEM DO TREM COM ACIONAMENTO DA BUZINA)	116
TABELA 15 - AVALIAÇÃO GLOBAL DOS NÍVEIS SONOROS NO RAMAL JARDIM BOTÂNICO	125
TABELA 16 - COMPARAÇÃO ENTRE OS NÍVEIS SONOROS MEDIDOS E CALCULADOS	126
TABELA 17 - AVALIAÇÃO GLOBAL DOS NÍVEIS SONOROS NO RAMAL RIO BRANCO DO SUL.....	140
TABELA 18 - NÍVEIS SONOROS NAS FACHADAS – PREVISÃO 1	146
TABELA 19 - NÍVEIS SONOROS NAS FACHADAS – PREVISÃO 2	151
TABELA 20 - NÍVEIS SONOROS NAS FACHADAS – PREVISÃO 3	156
TABELA 21 - AVALIAÇÃO GLOBAL DOS NÍVEIS SONOROS EM FUNÇÃO DA MEDIDA ADOTADA	157
TABELA 22 - NÍVEIS SONOROS ANTES E APÓS A UTILIZAÇÃO DA MEDIDA DE CONTROLE DE RUÍDO	159

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
2. OBJETIVO	22
2.1 OBJETIVO GERAL	22
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
3. JUSTIFICATIVA	23
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
4.1 SOM E RUÍDO.....	25
4.2 PROPRIEDADES DO SOM	25
4.2.1 Frequência sonora (<i>f</i>).....	25
4.2.2 Fonte sonora	26
4.2.3 Pressão sonora	28
4.3 MEDIÇÃO DO RUÍDO	28
4.3.1 Nível de pressão sonora.....	28
4.3.2 Curvas de ponderação do ruído	29
4.3.3 Nível de pressão sonora equivalente	30
4.4 EMISSÃO E IMISSÃO SONORA.....	30
4.5 ASPECTOS NORMATIVOS.....	31
4.5.1 Normas e leis internacionais referentes ao ruído.....	31
4.5.2 NBR 10151/00.....	33
4.5.3 Lei municipal 10.625/02.....	34
4.6 PERCEPÇÃO E INCÔMODO AOS NÍVEIS DE RUÍDO	36
4.7 DANOS CAUSADOS PELA EXPOSIÇÃO AO RUÍDO	39
4.8 TRANSPORTE FERROVIÁRIO.....	41
4.8.1 Transporte ferroviário no Paraná e em Curitiba	45
4.8.2 Faixa de domínio	50
4.9 ACIDENTES FERROVIÁRIOS	50
4.10 RUÍDO NO TRANSPORTE FERROVIÁRIO.....	52
4.10.1 Buzina.....	54
4.11 CONTORNO FERROVIÁRIO.....	61
4.12 BARREIRAS ACÚSTICAS	63
4.13 MAPEAMENTO ACÚSTICO.....	66

4.13.1	SoundPLAN	67
4.13.2	Schall 03	70
4.13.3	ISO 9613.....	72
4.14	ANÁLISE CRÍTICA.....	73
5.	MATERIAIS E MÉTODOS	76
5.1	ÁREA DE ESTUDO	76
5.1.1	Ramal Jardim Botânico	77
5.1.2	Ramal rio Branco do sul	82
5.2	EQUIPAMENTOS E METODOLOGIA DE MEDIÇÃO	88
5.3	MAPEAMENTO ACÚSTICO	92
5.4	CENÁRIOS PREVISTOS	99
5.4.1	Previsão 1 – Não acionamento da buzina nas passagens de nível.....	101
5.4.2	Previsão 2 – Inserção de barreiras acústicas.....	102
5.4.3	Previsão 3 – Retirada do trem do trecho urbano	102
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	103
6.1	MEDIÇÕES DOS NÍVEIS SONOROS	103
6.1.1	Ramal Jardim Botânico	103
6.1.2	Ramal Rio Branco do Sul	107
6.1.3	Espectro de frequência.....	111
6.1.4	Comparação entre os ramais Jardim Botânico e Rio Branco do Sul.....	113
6.2	MAPEAMENTO ACÚSTICO	115
6.2.1	Ramal Jardim Botânico	116
6.2.2	Ramal Rio Branco do Sul	125
6.3	CENÁRIOS	140
6.3.1	Previsão 1 – Não acionamento da buzina nas passagens de nível.....	141
6.3.2	Previsão 2 – Inserção de barreiras acústicas.....	146
6.3.3	Previsão 3 – Retirada do trem do trecho urbano	151
6.3.4	Discussão dos cenários	156
7.	CONCLUSÕES.....	160
7.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	162
	REFERÊNCIAS	164
	APÊNDICE – TEMPO DE CÁLCULO DOS MAPAS DE RUÍDO.....	175

ANEXO I – LEI MUNICIPAL 10.625/02.....	176
---	------------

1. INTRODUÇÃO

A poluição sonora é atualmente uma das principais formas de poluição ambiental, sendo responsável por impactos negativos com prejuízos ao meio ambiente e a qualidade de vida da população. O fato de não se poder ver, sentir o gosto ou o cheiro, pode ajudar a explicar o motivo do ruído não ter recebido atenção como outros tipos de poluição, tais como poluição do ar, ou a da água (US EPA, 2012).

O agente caracterizador da poluição sonora urbana é denominado de ruído urbano ou ruído ambiental. O ruído ambiental é considerado um ruído complexo, pois é composto de várias parcelas de ruídos secundários, provenientes de fontes e atividades diversas (BERGLUND *et. al.*, 1999). Estudos realizados (GRIFFITHS & LANGDON, 1968; ZANNIN *et. al.*, 2002, ANDERSSON *et. al.*, 2010) demonstram que grande parte da população se sente incomodada pelo ruído ambiental, sendo o ruído de tráfego o mais apontado. O transporte ferroviário, juntamente com o rodoviário e o aeroviário são as principais fontes de ruído que causam maior incômodo (EEA 2001, COM 2008). O efeito nocivo do ruído do tráfego é um dos problemas ambientais mais difundidos e, no entanto, ironicamente, um dos mais negligenciados em termos de conscientização e ações para combatê-lo (T&E, 2008).

A poluição sonora é considerada não apenas como um incômodo ambiental, mas também como uma ameaça à saúde pública (WHO, 2011). Os efeitos negativos relacionados ao ruído incluem perda da audição, estresse, irritabilidade, hipertensão, perda do sono, fadiga, falta de concentração e distúrbios digestivos (BELOJEVIC *et. al.*, 1997; MASCHKE, 1999).

Os elevados níveis sonoros também são responsáveis por impactos de ordem socioeconômica, tais como: perda auditiva, prejuízo das atividades produtivas motivadas por licenças-saúde, redução da capacidade de trabalho e de aprendizado além da desvalorização imobiliária (US EPA, 1981; CARTER, 1996; BERGLUND *et. al.*, 1999, SCHWIETERMAN & BADEN, 2001; THEEBE, 2004, BELLINGER, 2006). Uma estimativa conservadora é de que os custos sociais do ruído do tráfego na União Europeia são em torno de 40 bilhões de euros por ano (T&E, 2008).

O ruído ferroviário tem sido tipicamente tratado utilizando o argumento "nós estávamos aqui primeiro" (WATSON & SOHAIL, 2000), porém com o crescimento das cidades, pouco tem sido feito para melhoria desta situação. O incômodo causado pelas linhas férreas que transitam

em meio urbano tem exposto as pessoas a níveis de ruído muito elevados. Na Europa estima-se que mais de 10% da população (70 milhões de pessoas) estão expostas a níveis de ruído ferroviário acima do recomendado (EEA 2001, COM 2008).

Na cidade de Curitiba este cenário não é diferente, trazendo o ruído ferroviário incômodo aos moradores de diversos bairros, entre eles: Ahú, Alto Boqueirão, Alto da XV, Bacacheri, Barreirinha, Boa Vista, Boqueirão, Cabral, Cachoeira, Cajuru, Capão da Imbuia, Cidade Industrial, Cristo Rei, Hugo Lange, Jardim Botânico, Rebouças, Uberaba, São Lourenço, Sítio Cercado, Tatuquara, Uberaba, Umbará, entre outros. Segundo o banco de dados do IPPUC – Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC, 2012), o número de pessoas que residem nos bairros onde a linha férrea transita, ultrapassa o número de 750 mil habitantes, sendo a população total da capital paranaense de aproximadamente 1.800.000 habitantes (IBGE, 2010).

As ferrovias que passam por Curitiba e em parte da região metropolitana (Almirante Tamandaré e Pinhais) cumpriram um importante papel no desenvolvimento do Paraná. Na época o traçado era condizente com as cidades, mas hoje é incompatível com a ocupação urbana e o adensamento da Região Metropolitana (SILVA, 2009). A presença da linha férrea em meio urbano causa diversos problemas a população lindeira à via, como: 1) Poluição do ar e sonora, 2) Possibilidade de contaminação do solo por óleos e graxas, 3) Riscos de acidentes, 4) Problemas de circulação viária e 5) Desvalorização imobiliária. Ao longo dos anos estes problemas estão cada vez mais sendo questionados.

A poluição sonora ocasionada pelo tráfego dos trens, na região, já motivou notícias nos mais diversos meios de comunicação, chegando a casos de ações civis públicas. As principais reclamações são advindas do incômodo causado pelo acionamento da buzina de sinalização do trem. A cidade de Curitiba possui 48 passagens de nível em seu trecho urbano e o trem aciona a buzina em todas as passagens pelo menos três vezes (em uma distância total de 100 metros). Como o número de passagens de nível, em meio urbano, é muito elevado, para a passagem de apenas um trem, a buzina pode ser acionada mais de 150 vezes até a saída do município. As observações em campo confirmam que a composição férrea passa pela cidade pelo menos cinco vezes ao dia, o que resulta em aproximadamente 750 acionamentos da buzina em um dia. No período de safra (entre março e outubro) o incômodo é ainda maior, pois a movimentação chega a 30 trens diários (CARRIEL, 2009).

Um dos locais que mais sofre com a passagem do trem está localizado nas proximidades do Hospital Cajuru – um dos maiores hospitais da região Sul do Brasil. Além deste local ser de grande importância para o estudo, em 2011 um novo hospital foi construído próximo à linha férrea, Hospital Marcelino Champagnat, enriquecendo ainda mais a avaliação dos impactos ambientais sonoros na região.

A solução dos problemas relacionados à poluição sonora ocasionada pelos meios de transporte é difícil e dispendiosa, sendo estas intervenções encontradas, em sua maioria, em países desenvolvidos. A política de gestão do ruído ambiental mais bem sucedida é a europeia, onde os países da União Europeia pretendem realizar até 2012 mapas estratégicos de ruído que incluem as principais rodovias (com mais de 3 milhões de veículos por ano), os grandes eixos ferroviários (com mais de 30.000 trens por ano) e cidades com mais de 100.000 habitantes (EEA, 2010).

Apesar do Brasil ainda não ter uma política de gestão do ruído ambiental, nos últimos 10 anos, o ruído ambiental provocado pelo ruído de tráfego, vem sendo cada vez mais estudado (CALIXTO, 2002; SOUZA & CARDOSO, 2002; PAZ, 2004; BRONZATTI, 2009; PINTO & MARDONES, 2009; BUNN, 2010; FROST & ZANNIN, 2011; GUEDES *et. al.*, 2011; ZANNIN *et. al.*, 2011; FIEDLER *et. al.*, 2012; VALLE, 2012; ZANNIN *et. al.*, 2012), verificando um grande avanço nessa área de estudo. O Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico (LAAICA) da Universidade Federal do Paraná, laboratório onde foi realizado o estudo, destaca-se como um dos principais laboratórios do Brasil, tanto em infraestrutura como em produção científica e estudos de caso na área de ruído ambiental.

Além do conhecimento do problema, nas avaliações de impacto ambiental, um fator de grande importância são as legislações em vigência. As legislações referentes ao ruído são em muitos casos distintas, sendo consideradas, no estudo científico, legislações em âmbito: 1) Federal, 2) Estadual e 3) Municipal. O Brasil ainda está atrás, comparado a países desenvolvidos, especialmente aos países europeus, em relação à legislação e controle dos níveis sonoros. Segundo Watson & Sohail (2000), países como Suíça e Noruega são considerados países pouco tolerantes ao ruído de transportes.

Os avanços em alguns países, através de problemas locais, obrigaram a Europa em geral a tomar algumas atitudes, como: 1) Criar legislações mais rigorosas, 2) Elaborar mapas de ruído em larga escala e 3) Aumentar as atividades em pesquisa.

Sabendo da importância deste tema, este trabalho tende a ser um precursor em relação à avaliação da poluição sonora gerada pelo tráfego ferroviário, pois unirá medições, mapeamentos de ruído da situação atual e mapeamentos dos mais diversos cenários para minimizar os impactos ambientais sonoros ocasionados por este importante meio de transporte. As comunidades locais têm pressionado, cada vez mais, ações no sentido de minimizar os impactos negativos das atividades de carga no meio ambiente. Por estas razões, "não fazer nada", em relação ao ruído ferroviário, não pode ser considerado uma opção (WATSON & SOHAIL, 2000).

2. OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Quantificar o problema ambiental ocasionado pelo ruído ferroviário na cidade de Curitiba e propor possíveis alternativas de controle e mitigação.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

As etapas a serem realizadas para o alcance deste objetivo são:

- Identificar todos os processos envolvidos no evento da passagem do trem (passagem do trem com acionamento da buzina, a passagem do trem sem o acionamento da buzina e quando não há a passagem do trem);
- Identificar as áreas mais impactadas pelo ruído ferroviário;
- Propor e comparar as medidas de controle e mitigação de ruído através da simulação de diversos cenários.

3. JUSTIFICATIVA

O ruído é percebido como o problema ambiental mais importante para as pessoas que vivem perto da linha férrea (FIELDS & WALKER, 1982; CER & UIC, 2008). A relevância do ruído ferroviário traz a tona um grave problema ambiental, sendo este estudo uma abordagem inédita da averiguação do ponto de vista físico e da engenharia do ruído de trem. O estudo dos impactos ambientais sonoros causados pelo transporte ferroviário deve possuir um embasamento teórico para tomada de qualquer decisão preventiva ou mitigadora. Para isso, a pesquisa é uma ferramenta essencial para uma sociedade que aspira um desenvolvimento econômico e social de forma sustentável. Com o crescimento econômico brasileiro, o governo planeja para os próximos anos um pesado investimento no setor ferroviário (mais de 150 bilhões de reais até 2023). Este investimento será de mais de 50% do total de investimentos para área de transportes, superando os setores rodoviários, aeroviários e hidroviários juntos (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES E MINISTÉRIO DA DEFESA, 2009). Sabendo disso, o conteúdo apresentado, neste estudo, terá aplicação para os profissionais de áreas correlatas ao problema da poluição sonora e do planejamento urbano. O estudo também servirá como modelo para ações de combate e gerenciamento deste tipo nocivo de poluição ambiental, além de servir de modelo para avaliação do ruído ferroviário em outras cidades do Estado e do País.

A sociedade obterá grandes benefícios com a avaliação dos impactos ambientais sonoros ocasionados pelo ruído ferroviário, sendo os principais impactos positivos:

- Inovação tecnológica;
- Proposição e avaliação das soluções para o problema existente;
- Busca do desenvolvimento sustentável.

Para realização deste estudo, foi realizada uma vasta varredura na literatura existente e nota-se que alguns artigos internacionais abordam itens específicos apresentados neste trabalho (KURZE, 1996; VAN LEEUWEN, 2000, DANIELS & MURRAY, 2005; XIAOAN, 2006; NASSIRI *et. al.*, 2007; REITER & KOSTEK, 2008). No Brasil, o estudo a cerca do ruído ferroviário é um tema tão raro quanto inexistente, a não ser por algumas raras exceções, como os trabalhos de Bertolli e Paiva (2000), Roland e Zannin (2005), Bronzatti (2009) e Frost e Zannin (2011).

Esta avaliação possui um grande diferencial em relação aos trabalhos citados anteriormente, pois abordará medições, mapeamentos acústicos da situação atual e mapeamentos acústicos caso medidas de controle de fossem adotadas.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para uma melhor compreensão, foram abordados os principais conceitos e definições sobre a acústica técnica envolvida na avaliação da poluição sonora gerada pelo tráfego ferroviário, além de um breve histórico da malha ferroviária na cidade de Curitiba e região.

4.1 SOM E RUÍDO

O som se caracteriza por flutuações de pressão em um meio compressível (GERGES, 2000). Segundo Kinsler *et. al.* (1982), o som necessita de um meio elástico para se propagar, como o ar, água, concreto ou qualquer outro meio sólido, líquido ou gasoso. Esse meio sofre repetidas compressões e expansões moleculares que se propagam então em forma de ondas, a partir da fonte sonora. É importante compreender que não há deslocamento permanente de moléculas, ou seja, não há a transferência de matéria, apenas energia (exceto, por exemplo, nas proximidades de uma explosão) (GERGES, 2000).

O ruído pode ser definido como a propagação sonora de forma não harmoniosa, ou seja, os diversos movimentos oscilatórios se combinam e produzem um movimento resultante, cujas oscilações são desarmônicas (KINSLER *et. al.*, 1982). Segundo Hassall & Zaveri (1979), o ruído é definido como um som indesejável, sendo normalmente o resultado de atividades humanas do cotidiano. Portanto, a diferença entre som e ruído reside apenas na percepção subjetiva das pessoas, pois constituem o mesmo fenômeno físico (GOELZER *et. al.*, 2001).

4.2 PROPRIEDADES DO SOM

4.2.1 FREQUÊNCIA SONORA (f)

Frequência é o número de repetições de um evento por unidade de tempo. A frequência sonora é o número de ocorrência de uma onda sonora, a partir de uma vibração, em um segundo. A unidade mais utilizada para frequência sonora é o Hertz (Hz).

Segundo Möser (2004), o ouvido humano consegue detectar os sons na faixa de frequência de 16 Hz a 16 kHz. Sons com frequência abaixo de 16 Hz chamam-se *infrassons* e sons com frequência acima de 16 kHz são os *ultrassons*.

4.2.2 FONTE SONORA

A fonte sonora é um corpo, objeto ou sistema de onde se origina o som (HASSALL & ZAVERI, 1979) [Figura 1]. Os tipos de fonte mais usuais são:

- **Pontuais:** quando apresentam dimensões muito inferiores em relação à distância até o receptor;
- **Fonte em linha:** quando é considerada composta por um grande número de fontes pontuais dispostas sequencialmente, formando uma irradiação contínua;
- **Fonte em área:** quando uma fonte ou um conjunto de fontes apresentam-se dispostas em uma área de perímetro fechado, e suas dimensões são consideráveis ou perceptíveis em relação à distância até o receptor.

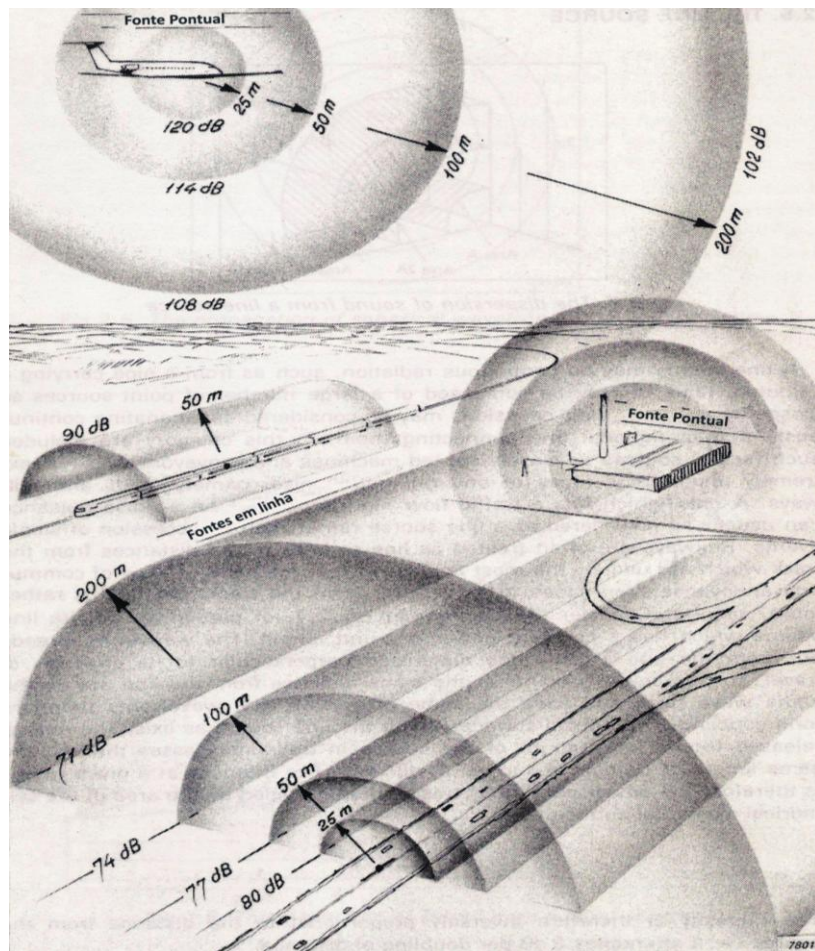


FIGURA 1 - FONTES PONTUAIS E FONTES EM LINHA

FONTE: Adaptado de Hassall & Zaveri (1979)

Um nível de ruído medido será sempre um valor vinculado à distância entre a fonte e o medidor de nível de pressão sonora, e qualquer variação de uma distância predeterminada, implicará em erros de medição (CALIXTO, 2002). No caso de um fluxo elevado de trens, a ferrovia pode ser considerada como uma fonte linear. Para fontes lineares os níveis de pressão sonora diminuem apenas 3 dB pelo dobro da distância (HASSALL & ZAVERI, 1979). Um dos principais problemas das fontes lineares é o pequeno decaimento a grandes distâncias, por exemplo, os níveis sonoros a uma distância de 1 km são, para o mesmo instante, apenas 16 dB a menos do que para uma distância a 25 m da fonte (MÖSER, 2004).

Segundo Möser (2004) a potência sonora é calculada usando uma superfície cilíndrica, em que l é o comprimento da fonte em linha e r é o raio do cilindro. O nível resultante é:

$$L_p = L_w - 10 \log \frac{l}{m} - 10 \log \frac{r}{m} - 8 \text{ dB} \quad (1)$$

Ou, se a fonte sonora estiver locada em uma superfície refletiva:

$$L_p = L_w - 10 \log \frac{l}{m} - 10 \log \frac{r}{m} - 5 \text{ dB} \quad (2)$$

Onde:

L_p é o nível de pressão sonora a uma distância r , dado em dB.

L_w é o nível de potencia sonora em dB(A).

l é o comprimento da fonte em linha.

Nesta última equação, o nível de pressão sonora decresce 3 dB pelo dobro da distância. Consequentemente, fontes sonoras em linha bastante longas, como rodovias movimentadas, são audíveis em grandes distâncias. O nível sonoro em uma distancia de 1 km, é apenas 16 dB menor do que o nível em uma distancia de 25m. Por exemplo, uma rodovia onde se mede o valor do nível de pressão sonora $L_{eq}(25m)=76 \text{ dB(A)}$ não é um valor para ser desconsiderado porque em uma distancia de 1 km ainda chegam 60 dB(A). Porém a presença de solo, plantas e edificações no caminho aliviam o impacto sonoro causado por uma rodovia.

No caso de uma ferrovia com pequeno fluxo e horários não constantes, a fonte sonora pode ser considerada como pontual (BRONS, 2003). Neste caso, os níveis de pressão sonora diminuem 6 dB pelo dobro da distância (HASSALL & ZAVERI, 1979).

4.2.3 PRESSÃO SONORA

O movimento das partículas em um meio elástico, em torno do seu ponto de equilíbrio, provoca a geração de variações de pressão. Sendo essa variação função da propagação do som, esta recebe a denominação de pressão sonora. (GERGES, 2000).

4.3 MEDIÇÃO DO RUÍDO

4.3.1 NÍVEL DE PRESSÃO SONORA

O menor valor da pressão sonora para audibilidade é de aproximadamente $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$, ou $20 \text{ } \mu\text{Pa}$ (vinte micropascal). Na outra extremidade, o limiar da dor ocorre a uma pressão sonora de aproximadamente 200 N/m^2 , ou $200 \times 10^6 \text{ } \mu\text{Pa}$ (duzentos milhões micropascal) (SCHULTZ, 1972; ROSSING *et. al.*, 1990; GERGES, 2000).

Para exprimir os valores das pressões sonoras na faixa da audibilidade humana de forma linear, como por exemplo, em N/m^2 , seria necessária uma escala considerável, inviabilizando a utilização da escala linear. Devido a grande variação sofrida pela pressão sonora, intensidade, potência, entre outros, foi utilizada a escala logarítmica. Como a escala em logaritmo exige uma base de referência, adotou-se o limiar da audição humana, 1 Bel, para essa base (EVEREST, 2009).

A expressão matemática geral que define o nível de uma potência qualquer, em Bel, é a seguinte (SCHULTZ, 1972; ROSSING 1990):

$$N = \log \frac{W_1}{W_0} \quad (3)$$

Onde: N: Nível de potência em Bel (B),

W_1 : Valor da potência a ser comparada em Watts (W),

W_0 : Valor de referência da potência em Watts (W).

Como a potência sonora é proporcional ao quadrado da pressão sonora, é possível então, a utilização da escala Bel para medição dos níveis de pressão sonora, como sendo o logaritmo da relação existente entre um determinado valor de pressão sonora e a pressão sonora mínima de referência. Assim:

$$NPS = \log \frac{p_1^2}{p_0^2} \quad \text{ou} \quad NPS = 2 \log \frac{p_1}{p_0} \quad (4)$$

Onde: NPS: Nível de pressão sonora em Bel (B),

p_1 : valor da pressão sonora a ser comparada em N/m^2 ,

p_0 : valor de referência da pressão sonora em N/m^2 .

Para níveis de pressões sonoras, foi definido o uso de um submúltiplo do Bel, o decibel [dB], devido à faixa dos valores de pressões sonoras estudadas em acústica.

Assim, a expressão que define um nível de pressão sonora em decibel é (SCHULTZ, 1972; GERGES, 2000):

$$NPS = 10 \log \frac{p_1^2}{p_0^2} \quad \text{ou} \quad NPS = 20 \log \frac{p_1}{p_0} \quad (5)$$

Onde: NPS: Nível de pressão sonora referente ao nível de referência em decibel [dB],

p_1 : pressão sonora medida em N/m^2 ,

p_0 : pressão sonora de referência igual a $2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$.

4.3.2 CURVAS DE PONDERAÇÃO DO RUÍDO

Essas curvas surgiram devido ao fato do ouvido humano não ser igualmente sensível ao som em todo o espectro de frequências. Um ser humano exposto a dois ruídos iguais em intensidade, porém distintos em frequência, terá uma sensação auditiva diferente para cada um deles (GERGES, 2000). Várias curvas foram então propostas na tentativa de se fazer com que os

níveis sonoros captados pelos medidores fossem devidamente corrigidos para assemelharem-se à percepção do som pelo ouvido humano. Essas curvas de compensação foram designadas pelas letras A, B, C, D, etc.

Originalmente a curva de ponderação A foi designada para corresponder à resposta do ouvido humano para níveis de pressão sonora de 40 dB para todas as frequências (BARRON, 2003). Muitos estudos e anos de experiências práticas mostraram que os níveis sonoros ponderados na escala A proporcionam uma correlação adequada com a resposta humana (tanto individualmente quanto para um grupo de pessoas em uma comunidade) para muitos tipos de fontes sonoras (JOHNSON *et. al.*, 1998; WHO, 2001).

4.3.3 NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE

O nível de pressão sonora equivalente é um nível constante médio que equivale, em termos de energia acústica, aos níveis variáveis do ruído durante o período de medição, expresso em decibel (dB) e dado por:

$$L_{eq} = 10 \log \left\{ \left(\frac{1}{t} \right) \left[\int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt \right] \right\} \quad (6)$$

Onde: L_{eq} : nível de pressão sonora equivalente [dB]

t: $(t_2 - t_1)$ = tempo total de duração [s]

$p(t)$: pressão sonora instantânea

p_0 : pressão sonora de referência = $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$

O nível sonoro não é o único potencial de danos à audição, mas também o tempo de exposição ao qual uma pessoa está sujeita.

4.4 EMISSÃO E IMISSÃO SONORA

Emissão sonora é a pressão sonora que efetivamente é emitida pela fonte geradora do som (V. D. A., 1978; BIES & HANSEN, 2002).

Imissão sonora é a pressão sonora que efetivamente é recebida pelo sistema auditivo do receptor ou pelo ponto de recepção, sendo então uma variação entre o nível de pressão sonora emitido por uma fonte menos as perdas na transmissão entre a fonte e o receptor (V. D. A., 1978; BIES & HANSEN, 2002).

4.5 ASPECTOS NORMATIVOS

Uma boa maneira de se combater o ruído é através de leis, normas, e em especial do desenvolvimento da consciência dos envolvidos – população, governo, políticos, juristas, trabalhadores, entre outros – na solução do problema. A maior dificuldade é que a própria população afetada tem dificuldade na avaliação deste poluente, por desconhecimento sobre o assunto ou por sua passividade frente à poluição sonora, dizendo-se “acostumada ao barulho”.

Deve-se destacar que quando um município ou estado não possui lei própria sobre a questão da avaliação do ruído ambiental, faz-se uso da NBR 10151 “Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade” (ABNT, 2000). Atualmente, as grandes cidades brasileiras, em sua maioria, possuem leis que visam regulamentar a questão da poluição sonora urbana. Algumas dessas leis apresentam diferentes valores para os níveis de ruído admissíveis, diferentes métodos para a análise, assim como diferem na maneira de punir os infratores (BUNN *et. al.*, 2010).

A partir disto, serão demonstradas legislações internacionais até chegarmos à lei municipal 10.625/02 (PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA, 2002) da cidade de Curitiba que dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem estar e do sossego público.

4.5.1 NORMAS E LEIS INTERNACIONAIS REFERENTES AO RUÍDO

A avaliação do ruído ambiental em cada país é determinada de forma diferente. Cada país determina os parâmetros que farão base à avaliação do ruído. A avaliação pode ser realizada nos períodos diurno, vespertino, noturno ou até mesmo no período de 24h. A figura 2 demonstra os níveis de pressão sonora equivalente de diversos países por determinado período do dia.

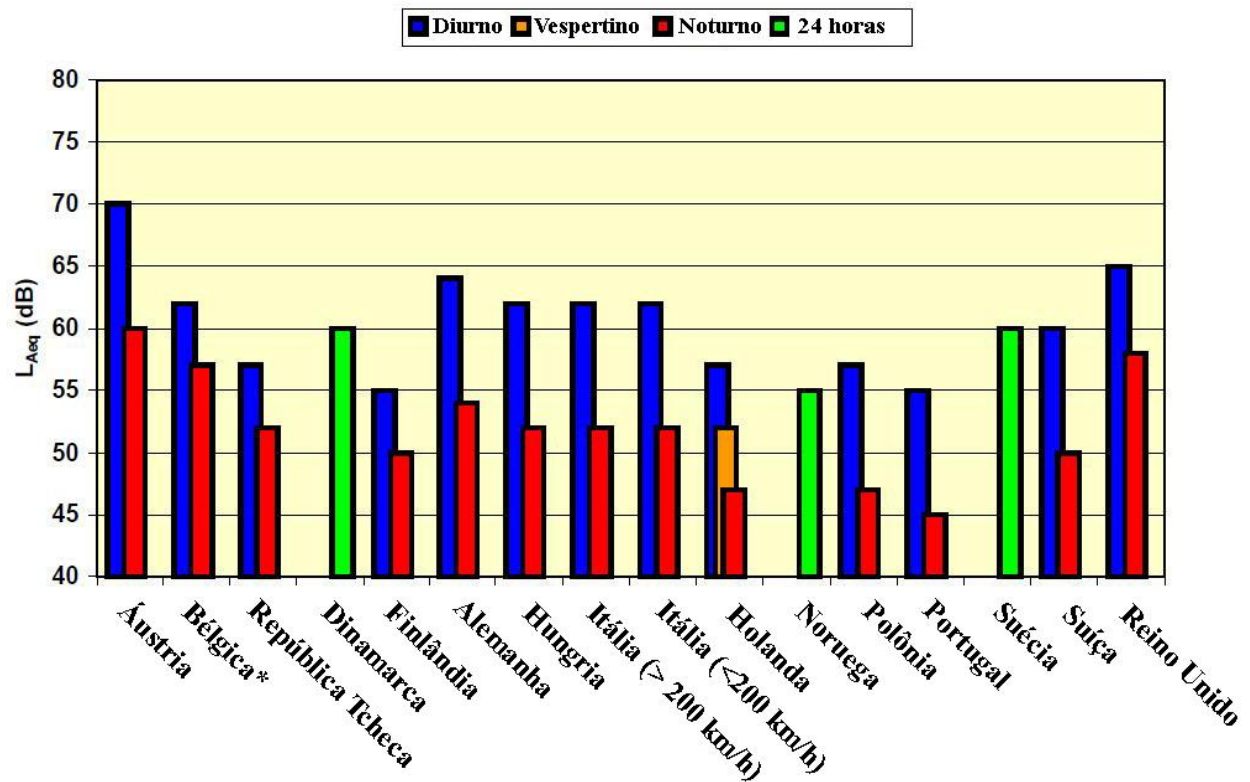


FIGURA 2 - LIMITES DE RUÍDO DAS NOVAS E REFORMADAS LINHAS FERROVIÁRIAS (L_{Aeq})
 FONTE: Adaptado de *Working group railway noise of the European Commission* (2003)

Os níveis sonoros máximos permitidos em cada país nem sempre são comparáveis, pois eles podem se diferenciar em:

- Tipos de trem (carga, passageiros, turismo, alta velocidade, entre outros);
- Tempo de referência (diurno, vespertino, noturno, 24h, entre outros);
- Localização dos receptores (por exemplo, campo livre ou próximo a uma fachada).

No Brasil as únicas normas referentes ao ruído ferroviário são a NBR 13067 – Carro Metropolitano e veículo leve sobre trilhos – Determinação dos níveis de ruídos (ABNT, 1997) e NBR 13068 – Ruídos interno e externo em carro metropolitano e veículo leve sobre trilhos (VLT) (ABNT, 1997). Estas normas não se aplicam ao estudo realizado, pois avaliam o ruído produzido por carros metropolitanos ou veículos leves sobre trilhos. No estudo foi avaliada a poluição sonora gerada por trens de carga com motor a diesel.

4.5.2 NBR 10151/00

No Brasil, a legislação que considera o ruído ambiental é a NBR 10151/00 (ABNT, 2000) “Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade”. A NBR 10151/00 tem como base os seguintes objetivos:

- Fixar as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades, independente da existência de reclamações;
- Especificar um método para a medição de ruído, a aplicação de correções nos níveis medidos se o ruído apresentar características especiais e uma comparação dos níveis corrigidos com um critério que leva em conta vários fatores.

A norma aborda algumas definições (nível de pressão sonora equivalente, ruído com caráter impulsivo, ruído com componentes tonais e nível de ruído ambiental), os equipamentos de medição que devem ser utilizados (classificação dos equipamentos e calibrador) e os procedimentos adotados para uma medição de ruído.

O método de avaliação de ruído é baseado em uma comparação entre o nível de pressão sonora corrigido L_c e o nível de critério de avaliação NCA. O nível corrigido L_c para ruído sem caráter impulsivo e sem componentes tonais é determinado pelo nível de pressão sonora equivalente, L_{Aeq} . O nível corrigido L_c para ruído com componentes tonais é determinado pelo L_{Aeq} acrescido de 5 dB(A).

Os valores adotados pela NBR 10151/00 para o nível de critério de avaliação estão representados na Tabela 1.

TABELA 1 - NÍVEL DE CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO (NCA) PARA AMBIENTES EXTERNOS, EM dB(A)

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Áreas estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

FONTE: ABNT (2000).

4.5.3 LEI MUNICIPAL 10.625/02

Em Curitiba a lei municipal 10.625/02 (PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA, 2002) dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem estar e do sossego público. A lei determina os níveis sonoros máximos permitidos em função do período do dia, sendo os períodos definidos em:

- Diurno – 07h01min às 19h00min;
- Vespertino – 19h01min às 22h00min;
- Noturno – 22h01min às 07h00min.

A cidade de Curitiba está dividida em diversas zonas de uso do solo, segundo a Lei municipal nº 9.800 de 2000, que dispõe sobre o Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo no Município de Curitiba e dá outras providências (PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA, 2000). A emissão de sons e ruídos por quaisquer atividades industriais, comerciais, prestação de serviços, religiosas, sociais, recreativas e de carga e descarga não podem exceder os níveis de pressão sonora contidos em sua respectiva zona de uso, conforme descrito na lei 10.625/02 e demonstrada na Tabela 2.

TABELA 2 - LIMITES MÁXIMOS PERMISSÍVEIS DE RUÍDO – LEI MUNICIPAL 10.625/02 (L_{Aeq})

ZONAS DE USO*	DIURNO	VESPERTINO	NOTURNO
ZR-1, ZR-2, ZR-3, ZR-B, ZR-AV, ZR-M, APA-SARU, APA-SMRU	55 dB (A)	50 dB (A)	45 dB (A)
ZR-OC, ZR-SF, ZR-U, ZUC-II, ZT-MF, ZT-NC, ZE-E, ZE-M, ZOO, SE-CC, SE-PS, SE-OI, APA-ST	60 dB (A)	55 dB (A)	50 dB (A)
ZR-4, ZC, ZT-BR-116, ZUM, ZE-D, SE, SH, SE-BR-116, SE-MF, SE-CF, SE-WB, SE-AC, SE-CB, CONEC, SE-PE, SC-SF, SC-UM, SE-NC, SEI, SEHIS, SE-LE, SEVC-PASSAÚNA, SEVS-PASSAÚNA, APA-SS, Vias prioritárias 1 e 2, Vias setoriais, Vias coletoras 1,2 e 3	65 dB (A)	60 dB (A)	55 dB (A)
ZS-1, ZS-2, ZES, ZI, ZEI-I (CIC), APA-SUE	70 dB (A)	60 dB (A)	60 dB (A)

* APA-SARU -	Setor de Alta Restrição de Uso
APA-SMRU -	Setor de Média Restrição de Uso
APA-ST -	Setor de Transição
APA-SUE -	Setor de Uso Esportivo
APA-SS -	Setor de Serviço
CONEC -	Setor Especial Conector – Conectora 1,2,3,4
SC-SF -	Setor Especial Comercial Santa Felicidade
SC-UM -	Setor Especial Comercial Umbará
SE -	Setor Especial Estrutural
SE-AC -	Setor Especial da Av. Affonso Camargo
SE-BR-116 -	Setor Especial da BR-116
SE-CB -	Setor Especial da Rua Engenheiro Costa Barros
SE-CC -	Setor Especial Centro Cívico
SE-CF -	Setor Especial da Av. Comendador Franco
SEHIS -	Setor Especial Habitação de Interesse Social
SEI -	Setor Especial Institucional
SE-LE -	Setor Especial Linhão do Emprego
SE-MF -	Setor Especial da Av. Mal. Floriano Peixoto
SE-NC -	Setor Especial Nova Curitiba
SE-OI -	Setor Especial de Ocupação Integrada
SE-PE -	Setor Especial Preferencial de Pedestres
SE-PS -	Setor Especial do Pólo de Software
SEVC-PASSAÚNA-	Setor Especial de Vias Coletoras
SEVS-PASSAÚNA-	Setor Especial de Vias Setoriais
SE-WB -	Setor Especial da Av. Pres. Wenceslau Braz
SH -	Setor Histórico
ZC -	Zona Central
ZOO -	Zona de Ocupação Orientada
ZE-D -	Zona Especial Desportiva
ZE-E -	Zona Especial Educacional
ZEI-I (CIC) -	Zona Especial de Indústria
ZE-M -	Zona Especial Militar
ZES -	Zona Especial de Serviços
ZI -	Zona Industrial
ZR-1 -	Zona Residencial 1
ZR-2 -	Zona Residencial 2

ZR-3 -	Zona Residencial 3
ZR-4 -	Zona Residencial 4
ZR-AV -	Zona Residencial Alto da Glória
ZR-B -	Zona Residencial Batel
ZR-M -	Zona Residencial Mercês
ZR-OC -	Zona Residencial de Ocupação Controlada
ZUC-II -	Zona de Urbanização Consolidada
ZR-SF -	Zona Residencial Santa Felicidade
ZR-U -	Zona Residencial Umbará
ZS-1 -	Zona de Serviço 1
ZS-2 -	Zona de Serviço 2
ZT-BR-116 -	Zona de Transição BR - 116
ZT-MF -	Zona de Transição Av. Mal. Floriano Peixoto
ZT-NC -	Zona de Transição Nova Curitiba
Z-UM -	Zona de Uso Misto

FONTE: Prefeitura Municipal de Curitiba (2002)

Percebe-se que a lei municipal de Curitiba 10.625/02 (PMC, 2002) obedece aos valores da NBR 10151/00 (ABNT, 2000), sendo em muitos casos mais exigente.

A lei municipal 10.625/02 ainda considera zonas sensíveis ao ruído, também chamadas de zonas de silêncio. As zonas sensíveis ao ruído ou zonas de silêncio são consideradas aquelas que, para atingir seus propósitos, necessita que lhe seja assegurado um silêncio excepcional. Define-se como zona de silêncio a faixa determinada pelo raio de 200,00m (duzentos metros) de distância de hospitais, escolas, creches, bibliotecas públicas, hotéis, postos de saúde ou similares. Quando a propriedade que sofre o incômodo tratar-se destes locais, devem ser atendidos os limites estabelecidos para ZR-1, independentemente da zona de uso.

Na referente lei também está detalhada de forma ampla a classificação das infrações, os valores das penalizações e as sanções caso haja o descumprimento de qualquer dispositivo.

4.6 PERCEPÇÃO E INCÔMODO AOS NÍVEIS DE RUÍDO

O transporte ferroviário, juntamente com o rodoviário e o aeroviário são as principais fontes de ruído que causam maior incômodo (GRIFFITHS & LANGDON, 1968; EEA, 2001; ZANNIN *et. al.*, 2002; COM, 2008). Estima-se que mais de 10% dos europeus estão expostos a níveis de ruído ferroviário acima dos níveis recomendados (EEA, 2001; COM, 2008).

A figura 3 associa o incômodo das pessoas com os níveis sonoros. Quanto maior os níveis sonoros, maior é porcentagem da população que se sente incomodada.

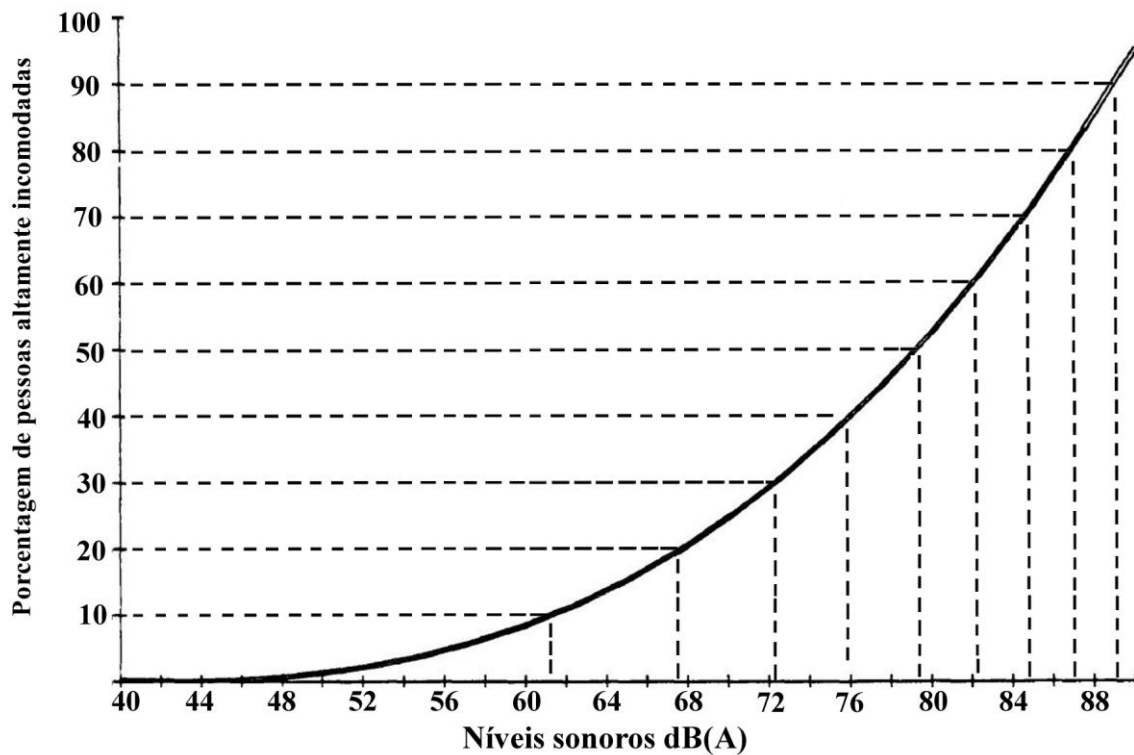


FIGURA 3 - PORCENTAGEM DE PESSOAS INCOMODADAS COM O AUMENTO DOS NÍVEIS SONOROS

FONTE: Adaptado de Fidell *et. al.* (1991)

A questão do incômodo relacionado ao ruído ferroviário, na região de Curitiba, já possui relações na esfera política, através de denúncias feitas pelo vereador Jair César ao Ministério Público Estadual. Segundo o parlamentar, ocorre o excesso de ruídos provenientes da buzina das composições férreas que circulam pela cidade à noite.

Por economia, a empresa, que explora o serviço ferroviário, não instala dispositivos modernos nas travessias urbanas e os maquinistas, para prevenir possíveis acidentes, se penduram na corda do apito, levando dezenas de decibéis a todos os moradores das proximidades das linhas”, diz o vereador. A empresa não está se importando com a idade, estado de saúde ou a necessidade do descanso coletivo, como se a engenharia ferroviária não pudesse resolver os quesitos segurança e barulho sob a ótica moderna. Falta atenção e respeito por parte da concessionária e vamos atormentá-la na mesma proporção que faz com as pessoas, que são incomodadas pelo excesso de barulho, afirma Jair César. A diferença é que o incômodo que vamos causar tem amparo geral e exigiremos o cumprimento da lei, conclui (CMC, 2010).

Em 2000, o Ministério Público Estadual entrou com uma ação civil pública em função da poluição sonora causada pelos trens. Reclamações de moradores e a proximidade da linha férrea com o Hospital Cajuru motivaram a ação. A proposta era que os trens não circulassem no período entre as 22 e 6 horas, não emitissem sons acima do permitido e que fossem instaladas cancelas em todas as passagens de nível. O Ministério Público acredita que a solução da poluição sonora também resolverá a questão dos acidentes (CARRIEL, 2009).

A América Latina Logística (ALL), empresa que opera os trens de carga na cidade de Curitiba, argumenta que os maquinistas utilizam a buzina seguindo procedimentos internacionais de segurança praticado por ferrovias do mundo inteiro. A norma 215 do Regulamento Geral de Operação Ferroviária diz que “*deve-se tocar a buzina da locomotiva antes de iniciar a movimentação, ao se aproximar de túneis, viadutos ou de uma passagem de nível*” (CARRIEL, 2009).

Em 2004, foi celebrado um convênio entre a ALL e a Prefeitura Municipal de Curitiba, para em conjunto aparelhar e sinalizar as passagens de nível localizadas no perímetro urbano da cidade. O objetivo do convênio era a implantação e recuperação da sinalização passiva e ativa das passagens de nível localizadas nos ramais ferroviários situados dentro do perímetro urbano de Curitiba. Em pouco tempo, as 32 cancelas implantadas foram vandalizadas, com o roubo das hastes de alumínio e de equipamentos em geral (componentes eletrônicos, em especial as baterias automotivas) (FALCÃO, 2007).

Além do incômodo causado à população, a desvalorização de imóveis também é um fator importante em relação aos níveis sonoros. O ruído de tráfego causa de fato um impacto significativo no decréscimo do valor das residências. Segundo Theebe (2004), a maioria dos estudos consideram que as propriedades não sofrem desvalorização imobiliária para níveis sonoros abaixo de 55 dB(A), mas para cada decibel acima de 55 dB(A) as perdas podem chegar a 0,4% do valor da residência, em média.

Um estudo de caso realizado por Bellinger (2006) em uma pequena cidade da Pensilvânia avalia o custo do ruído da buzina do trem na região. Os resultados obtidos apresentaram um decréscimo de 4,1% no valor das propriedades de uma pequena cidade da Pensilvânia para cada 10 dB acima do nível de ruído de fundo. Considerando as 256 propriedades residenciais afetadas, as perdas se totalizariam pouco mais de 4 milhões de dólares, em valores de 2004 (BELLINGER, 2006).

Na região de Illinois/EUA, se não houvesse a criação de zonas de silêncio (zonas onde o trem não buzina) a região provavelmente obteria uma perda líquida no valor das propriedades na faixa de 616 milhões de dólares, podendo este valor chegar até 1 bilhão de dólares (SCHWIETERMAN & BADEN, 2001).

As formas de medir o custo econômico do dano de ruído variam de país para país e levam em conta muitos fatores. Uma estimativa conservadora é de que os custos sociais do ruído de tráfego, na União Europeia, são em torno de 40 bilhões de euros por ano (T&E, 2008).

4.7 DANOS CAUSADOS PELA EXPOSIÇÃO AO RUÍDO

Especialistas em saúde pública concordam que os riscos ambientais constituem 24% dos motivos da carga de doenças, sendo que a ampla exposição ao ruído ambiental a partir de estradas, ferrovias, aeroportos e zonas industriais contribui em grande parte para esse alto índice (WHO, 2011). Os efeitos negativos relacionados ao ruído incluem estresse, irritabilidade, hipertensão, perda do sono, fadiga, falta de concentração, distúrbios digestivos, baixa produtividade, deterioração da qualidade de vida e redução de oportunidades de repouso (BELOJEVIC *et. al.*, 1997; MASCHKE, 1999).

O ruído é uma das ameaças à saúde pública mais disseminada nos países industrializados. A sua redução é, por conseguinte necessária, não só por razões de conforto, mas também para atenuar efeitos sanitários adversos (COM, 2008). A figura 4 demonstra uma relação entre o número de pessoas afetadas em função da severidade do ruído.



FIGURA 4 - PIRÂMIDE DE EFEITOS DO RUÍDO (SEVERIDADE X NÚMERO DE PESSOAS AFETADAS)

FONTE: Adaptado de Babisch (2002).

Os efeitos negativos relacionados ao ruído são classificados de acordo com os níveis de ruído (BERGLUND *et. al.*, 1999), como demonstrado na figura 5.

A partir de 85 dB(A)	<ul style="list-style-type: none"> • Pode haver perda de audição
80 dB(A)	<ul style="list-style-type: none"> • Ocorre a liberação de endorfinas, causando uma sensação de prazer momentâneo.
70 dB(A)	<ul style="list-style-type: none"> • Nível inicial do desgaste do organismo, aumentando o risco de infarto, derrame cerebral, infecções e outras patologias.
A partir de 55 dB(A)	<ul style="list-style-type: none"> • Pode haver a ocorrência de estresse leve acompanhado de desconforto.
Até 50 dB(A)	<ul style="list-style-type: none"> • O ruído pode perturbar, mas o organismo se adapta facilmente a ele.

FIGURA 5 - EFEITOS NEGATIVOS RELACIONADOS AO RUÍDO

FONTE: Adaptado de Berglund *et. al.* (1999)

A Organização Mundial da Saúde (OMS) define a saúde como um estado de completo desenvolvimento físico, mental e bem-estar social e não meramente a ausência de doença ou enfermidade. Portanto, o ruído ambiental deve ser considerado não apenas como uma causa de incômodo, mas também uma preocupação para a saúde pública e ambiental (WHO, 2011).

É importante salientar que o nível do ruído não é o único parâmetro que causa problemas à saúde, mas também o tempo ao qual a pessoa fica exposta a esse ruído.

4.8 TRANSPORTE FERROVIÁRIO

O Brasil é o 5º maior país do mundo em extensão territorial, porém possui a 10ª maior extensão de rede ferroviária do mundo, com 29.706 quilômetros [Figura 6].

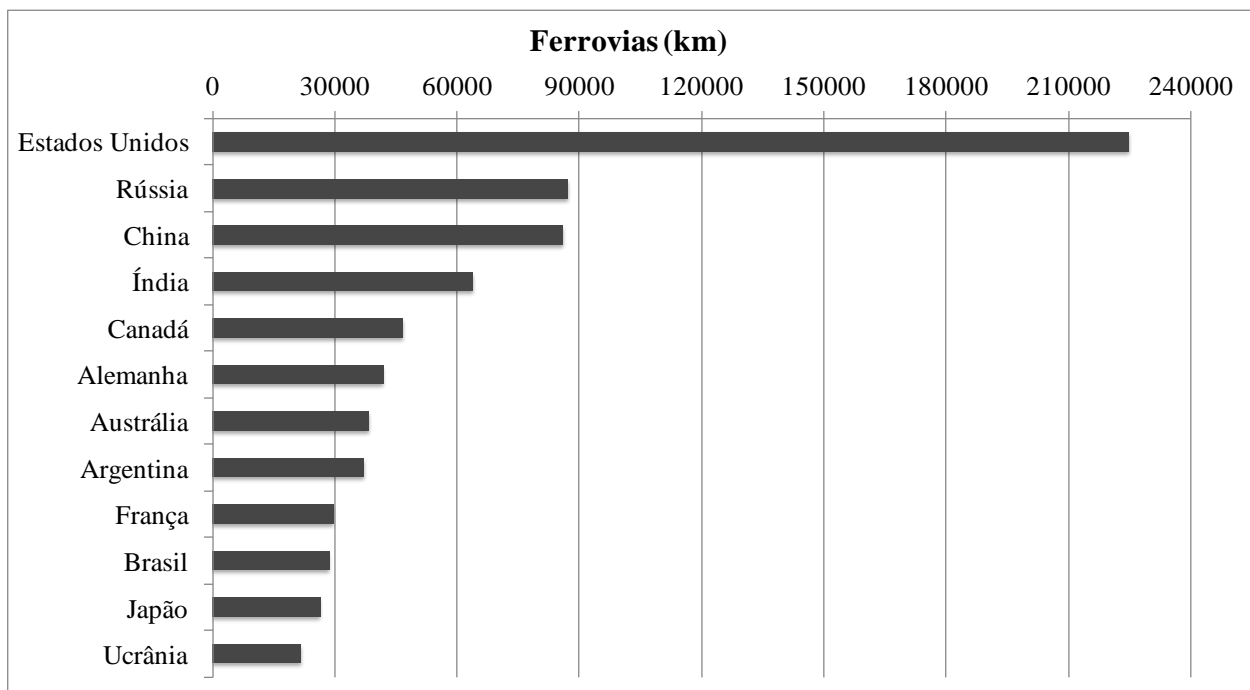


FIGURA 6 - COMPRIMENTO TOTAL DA REDE FERROVIÁRIA

FONTE: Adaptado de CIA (2011)

A falta de investimentos e o mau gerenciamento no setor ferroviário deixou o Brasil atrás de países com menor extensão, como Alemanha, Austrália, Argentina e França. Além disso, o baixo incentivo ao modal ferroviário, nas décadas passadas, ocasionou diversos problemas, como: invasões de faixa de domínio, quantidade excessiva de passagens de nível, falta de contornos em áreas urbanas e cobertura insuficiente da malha. Para melhoria deste cenário, o

governo brasileiro planeja para os próximos anos um pesado investimento no setor ferroviário (mais de 150 bilhões de reais até 2023) (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES E MINISTÉRIO DA DEFESA, 2009). Este investimento será de mais de 50% do total de investimentos para área de transportes, superando os setores rodoviários, aeroviários e hidroviários juntos, como apresentado pela tabela 3.

TABELA 3 - INVESTIMENTOS RECOMENDADOS EM INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES ATÉ 2023

Período	Modo de transporte	Recurso (milhares de reais)	Participação do Modal no total de investimentos
2008-2011	Aeroportuário	5.248.326	Total no Período 109.204.304
	Ferrovário	33.752.072	
	Hidroviário	3.825.381	
	Portuário	17.894.178	
	Rodoviário	46.844.347	
	Outros	1.640.000	
2012-2015	Aeroportuário	4.010.390	Total no Período 84.309.774
	Ferrovário	53.056.942	
	Hidroviário	7.124.932	
	Portuário	8.123.177	
	Rodoviário	10.443.393	
	Outros	1.550.940	
Após 2015	Aeroportuário	3.762.960	Total no Período 97.294.202
	Ferrovário	63.327.062	
	Hidroviário	4.833.977	
	Portuário	12.915.500	
	Rodoviário	12.440.135	
	Outros	14.568	
Total Modal	Aeroportuário	13.021.676	4,48%
	Ferrovário	150.136.076	51,63%
	Hidroviário	15.784.290	5,43%
	Portuário	38.932.855	13,39%
	Rodoviário	69.727.875	23,98%
	Outros	3.205.508	1,10%
Total Brasil		290.808.280	100,00%

FONTE: Ministério dos Transportes e Ministério da Defesa (2009)

O sistema ferroviário brasileiro está concentrado nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste, atendendo parte do Centro-Oeste e Norte do país. A distribuição das principais ferrovias do país são demonstradas pelo mapa do Sistema Ferroviário Nacional [Figura 7] (ANTT, 2011).

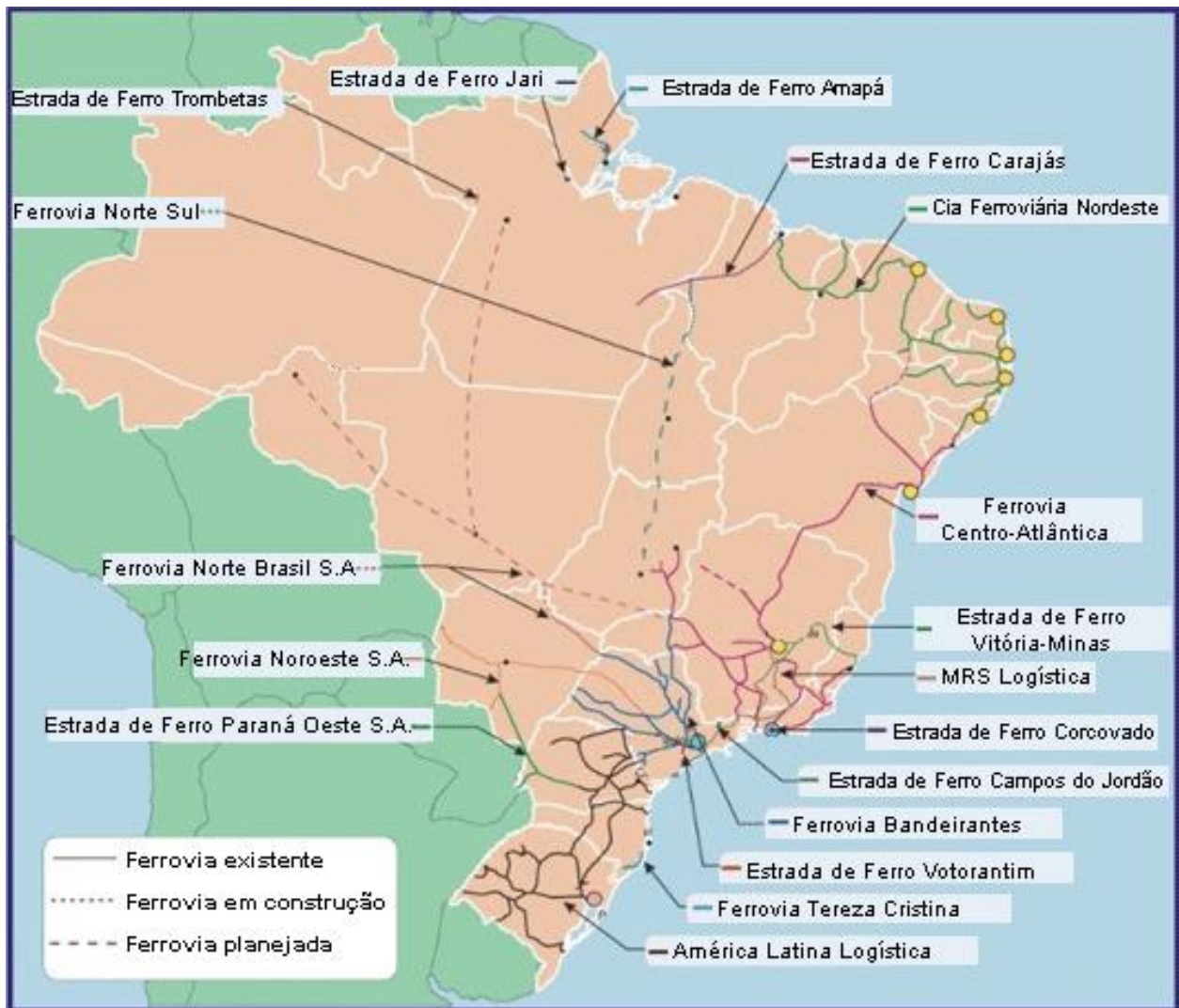


FIGURA 7 - MAPA DO SISTEMA FERROVIÁRIO NACIONAL

FONTE: ANTT (2011)

O setor ferroviário teve pouca variação em relação a composição de cargas nos anos de 1996 a 2000, considerando o total da carga transportada no país, como demonstrado na Tabela 4.

TABELA 4 - PORCENTAGEM DO TOTAL DA CARGA TRANSPORTADA NO PAÍS POR MEIO DE TRANSPORTE

MODO DE TRANSPORTE	1996	1997	1998	1999	2000
Aéreo	0,33	0,26	0,31	0,31	0,33
Aquaviário	11,47	11,56	12,69	13,19	13,86
Dutoviário	3,78	4,55	4,44	4,61	4,46
Ferroviário	20,74	20,72	19,99	19,60	20,86
Rodoviário	63,68	62,91	62,57	62,29	60,49

FONTE: GEIPOT (2000)

O modal ferroviário caracteriza-se, especialmente, por sua capacidade de transportar grandes volumes, com elevada eficiência energética, principalmente em casos de deslocamentos a médias e grandes distâncias. Em termos de carga transportada, o sistema ferroviário brasileiro é o maior da América Latina (ANTT, 2011). As ferrovias também apresentam maior segurança, em relação ao modal rodoviário, com menor índice de acidentes e menor incidência de furtos e roubos (ANTT, 2011). Se uma carreta leva até 30 toneladas de carga, um trem chega a 3 mil toneladas.

Construir trilhos é caro, mas mesmo assim esse tipo de transporte é 20% mais barato do que o rodoviário, ainda mais em distâncias acima de 600 quilômetros (CORDEIRO, 2007). Em relação aos impactos ambientais, as ferrovias são geralmente reconhecidas como um meio mais sustentável de transporte, pois utiliza apenas um terço do combustível necessário pelo transporte rodoviário por tonelada de carga transportada e produz menos de um terço das emissões de gases de efeito estufa (DEPARTMENT OF ENVIRONMENT AND CLIMATE CHANGE NSW, 2007). Um exemplo prático dos benefícios do transporte ferroviário é o trajeto Melbourne–Sydney. Um trem de cargas neste trecho substitui 150 semi-reboques, economizando 45.000 litros de combustível e 130 toneladas de gases de efeito estufa, em comparação com o transporte rodoviário (DEPARTMENT OF ENVIRONMENT AND CLIMATE CHANGE NSW, 2007).

Operadores de trens e ferrovias decidiram fazer uma manifestação mundial no dia 19 de junho de 2012, durante a realização da conferência Rio +20. Todos os trens em operação no mundo acionaram suas buzinas com o objetivo de chamar a atenção para a utilização do transporte ferroviário. A ideia dos organizadores é mostrar que o uso do transporte sobre trilhos é o mais sustentável, tanto pelo fato de poluir menos que automóveis e caminhões, como por

transportar uma grande quantidade de passageiros ou cargas sem provocar congestionamentos (ONAGA, 2012).

O transporte de cargas é uma atividade fundamental para a dinâmica das cidades, que vem crescendo e sofrendo mudanças nos últimos anos. Entretanto em função de uma série de fatores, tal atividade vem acarretando conflitos que se tornam mais evidentes com o crescimento da população, causando transtornos ao tráfego, oferecendo riscos ao patrimônio público ou privado, à saúde da população e ao meio ambiente (PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA, 2008). O transporte ferroviário, por ser responsável pelo deslocamento da grande parte de produção, possui importância fundamental para o desenvolvimento de um país, mas também é alvo de problemas ambientais, como a poluição sonora (BRONZATTI, 2009).

4.8.1 TRANSPORTE FERROVIÁRIO NO PARANÁ E EM CURITIBA

O Paraná é o quarto Estado com maior extensão da malha ferroviária, totalizando 2287 km (SPPERT, 2012). A malha ferroviária é fundamental no Estado, principalmente para o escoamento de grãos das regiões produtoras até o porto de Paranaguá.

Na cidade de Curitiba, a primeira ferrovia foi implantada em 1885, com a linha Curitiba–Paranaguá, sendo depois conectada com a ferrovia que ligava o norte (São Paulo) ao sul (Santa Catarina e Rio Grande do Sul) (FALCÃO, 2007). A figura 8 demonstra importantes etapas da construção da linha férrea Curitiba – Paranaguá.



FIGURA 8 - INÍCIO DA CONSTRUÇÃO DA FERROVIA CURITIBA-PARANAGUÁ

FONTE: Portal Domínio Público (2008); Caminho e aventura (2010)

O objetivo da linha férrea era estreitar a relação entre as cidades do litoral paranaense e a capital do estado, com vistas ao desenvolvimento do litoral. Além disso, era imprescindível ligar o Porto de Paranaguá aos estados do Sul do Brasil, para que houvesse vazão à produção de grãos dos estados e, dessa forma, garantir apoio ao desenvolvimento econômico da região. A figura 9 mostra um trem de carga com destino ao Porto de Paranaguá.



FIGURA 9 - TREM DE CARGA COM DESTINO AO PORTO DE PARANAGUÁ.

FONTE: O autor (2012)

Alguns anos depois da construção da linha Curitiba–Paranaguá, foi iniciada a construção da Estrada de Ferro Curitiba – Rio Branco. Esta linha conecta Curitiba a Rio Branco do Sul e teve seu primeiro trecho da ferrovia concluído em 1909. Este trajeto possui 43 km de extensão e não teria futuro se, nos meados de 1940, não tivesse sido construída na sua extremidade uma fábrica de cimento, que hoje pertence ao Grupo Votorantim (ESTAÇÕES FERROVIÁRIAS DO

BRASIL, 2012). Esta linha é amplamente utilizada para o transporte de cimento, clínquer (cimento numa fase básica, a partir do qual se fabrica o cimento Portland) e cal.

Atualmente, dois grandes ramais férreos atravessam a cidade de Curitiba: Ramal Jardim Botânico e o Ramal Rio Branco do Sul. Estes ramais possuem uma grande interação com a malha urbana, causando a passagem do trem um grande impacto ambiental sonoro [Figura 10].

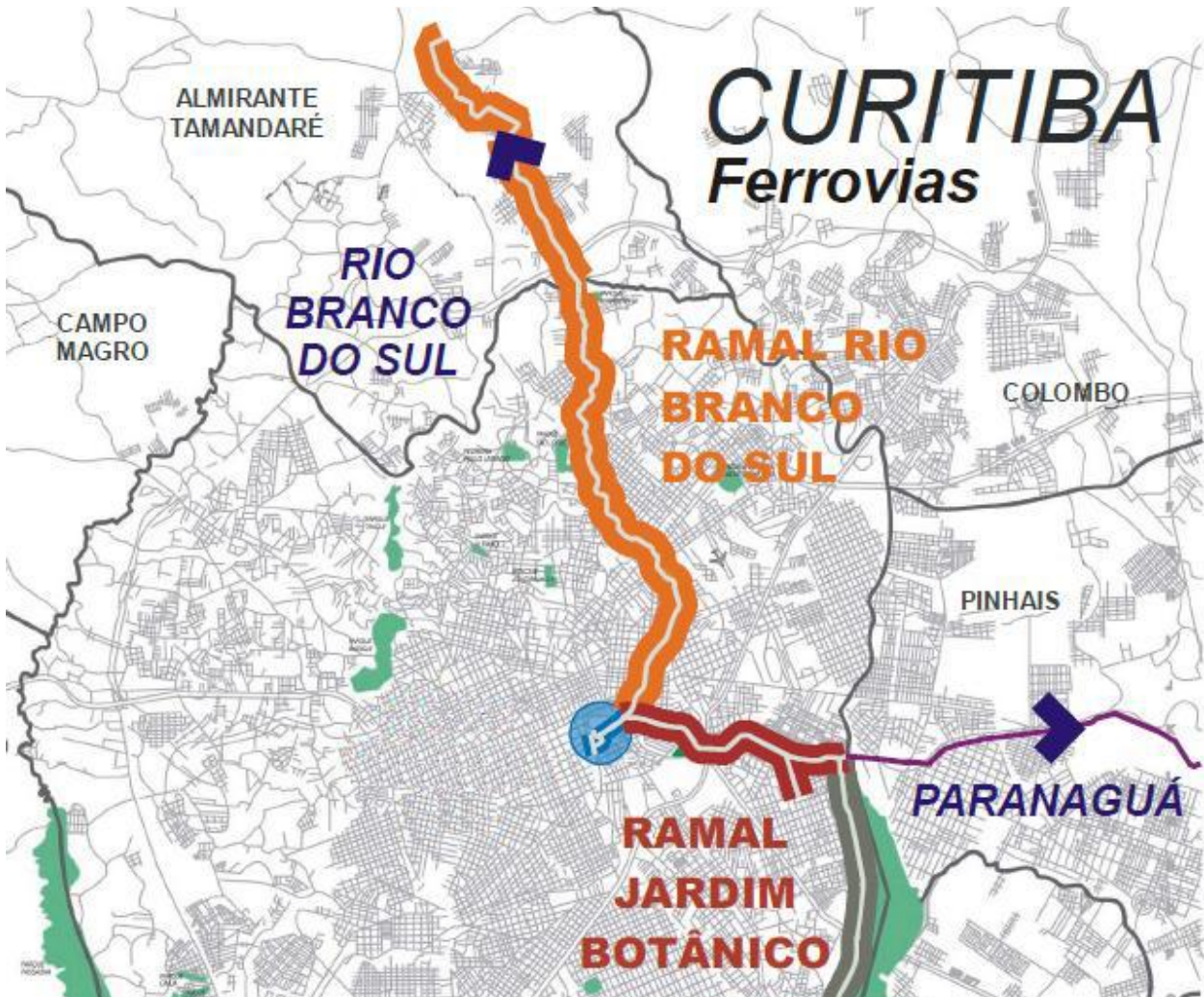


FIGURA 10 - LIGAÇÕES FERROVIÁRIAS EM CURITIBA

FONTE: Falcão (2007)

O transporte ferroviário de cargas em Curitiba possui um grande potencial, sendo o volume de cargas para o Ramal Jardim Botânico e para o Ramal Rio Branco do Sul apresentado respectivamente nas figuras 11 e 12.

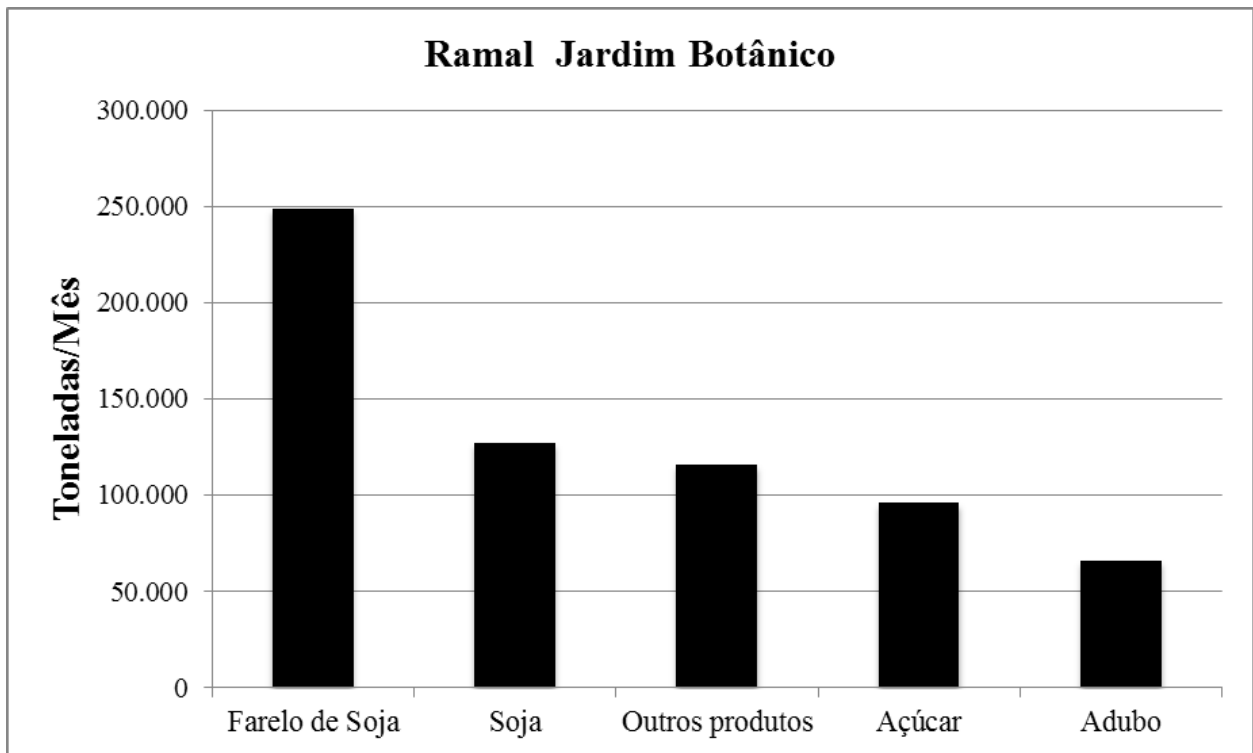


FIGURA 11 - VOLUME DE CARGAS NO RAMAL JARDIM BOTÂNICO

FONTE: Adaptado de Falcão (2007)

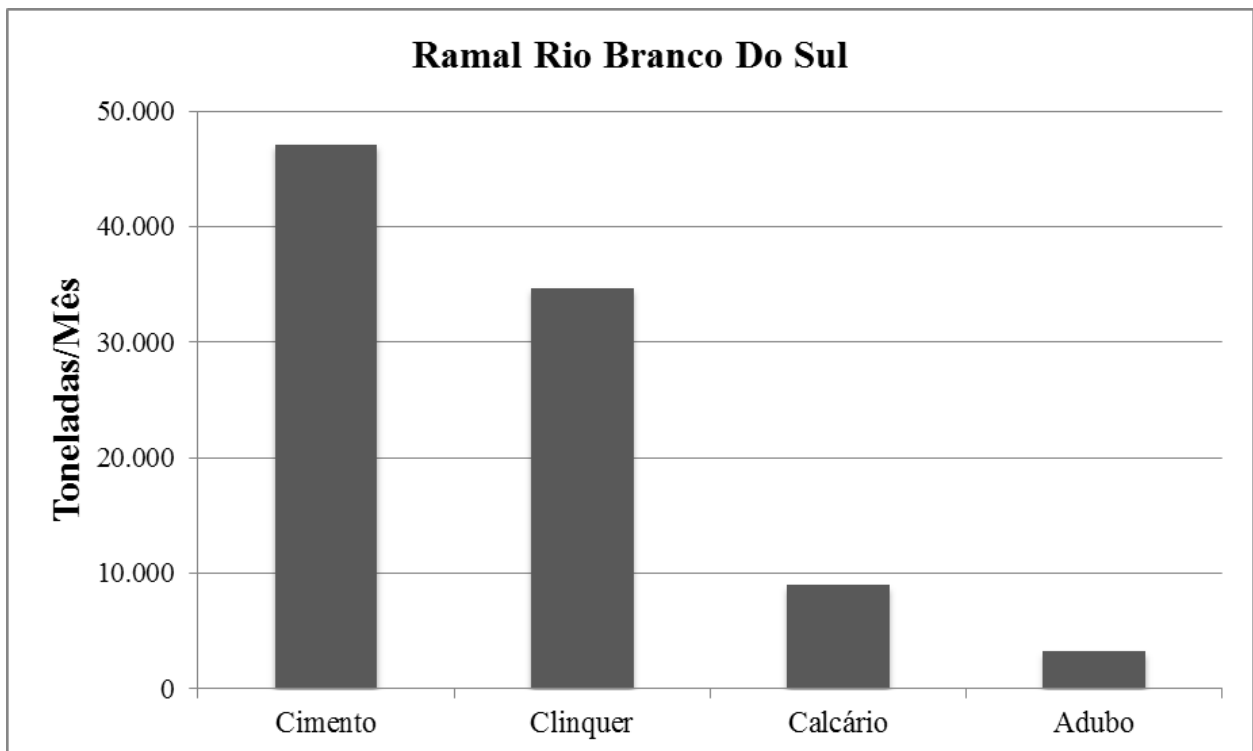


FIGURA 12 - VOLUME DE CARGAS NO RAMAL RIO BRANCO DO SUL

FONTE: Adaptado de Falcão (2007)

A presença da linha férrea em meio urbano causa diversos problemas a população lindeira à via. As passagens de nível (cruzamento não desnivelado entre uma ferrovia e uma rua ou estrada, na ausência de uma ponte ou um túnel) são os locais onde ocorrem os principais conflitos. A cidade de Curitiba contempla 48 passagens de nível aproximadamente, demonstrando ainda mais a importância do estudo. A figura 13 demonstra os trechos com maior quantidade de passagens de nível.

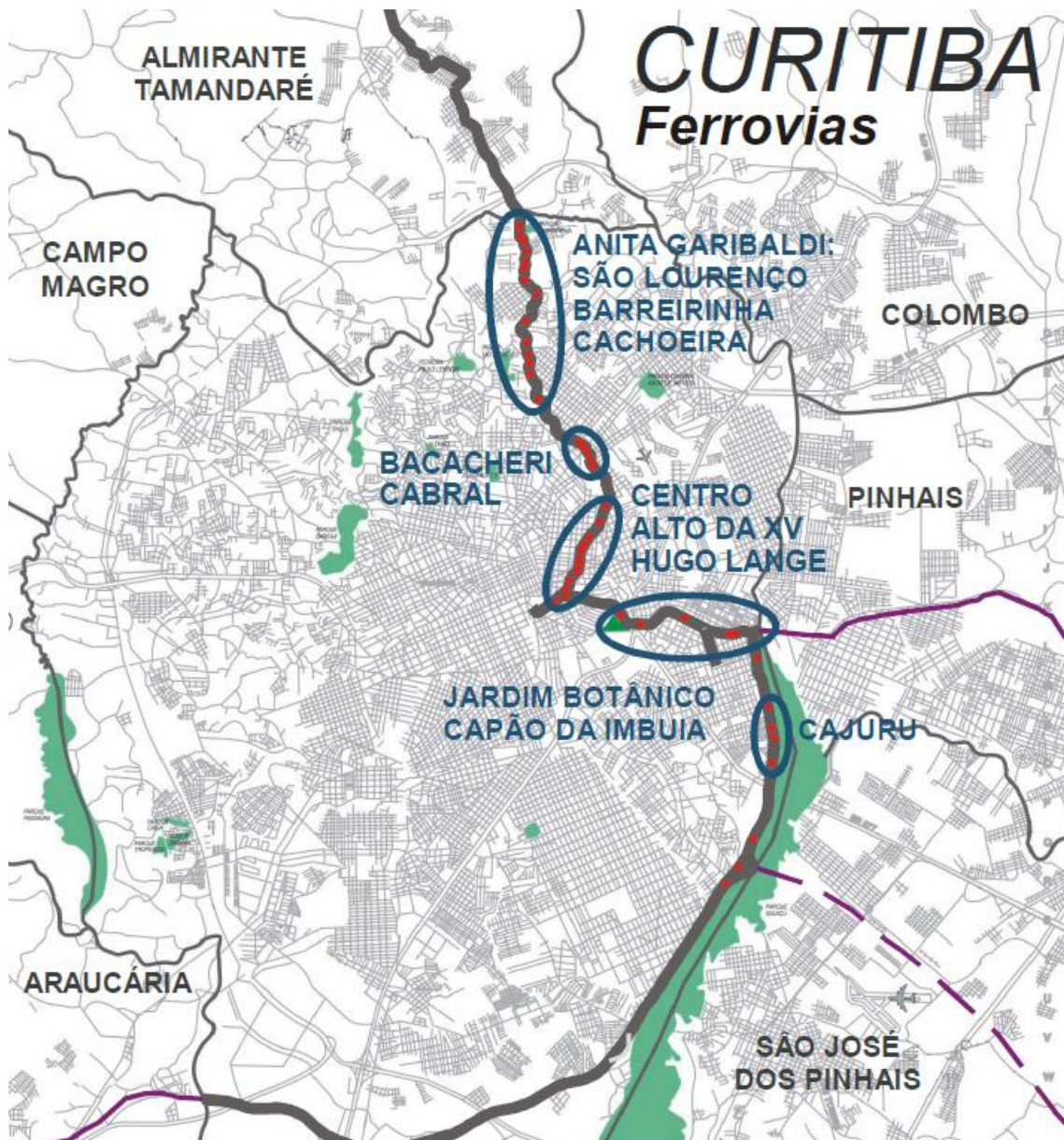


FIGURA 13 - PASSAGENS DE NÍVEL EM CURITIBA

FONTE: Adaptado de Falcão (2007)

4.8.2 FAIXA DE DOMÍNIO

A faixa situada à margem da ferrovia, chamada faixa de domínio, é uma área de terreno com pequena largura em relação à extensão e varia de acordo com cada trecho, motivo pelo qual se faz necessário verificar a dimensão em cada caso.

A lei federal nº 6766/79 (BRASIL, 1979) atualizada pela lei nº 10.932/04 (BRASIL, 2004) determina como faixa *non aedificandi* 15m (quinze metros) posteriores a faixa de domínio, assim, só poderá haver edificações, que não sejam ferroviárias, após esta distância.

“Ao longo das águas correntes, dormentes e das faixas de domínio público das rodovias e ferrovias, será obrigatória a reserva de uma faixa não-edificável de 15 (quinze) metros de cada lado, salvo maiores exigências da legislação específica” (BRASIL, 2004).

4.9 ACIDENTES FERROVIÁRIOS

Um dos principais problemas da interação entre a linha férrea com vias urbanas é a segurança de todos os envolvidos: trens, automóveis e pedestres. Diversos meios de sinalização podem ser utilizados para prevenção de acidentes nas passagens de nível, como: buzina do trem, cancelas, sinal eletrônico sonoro e visual, placas de advertência, sinalização semafórica, linha de retenção, entre outros.

Na cidade de Curitiba, a linha férrea corta mais de 20 quilômetros de trechos densamente habitados. A grande quantidade de passagens de nível ao longo de todo esse trecho só aumenta a probabilidade de acidentes. Para resolução do problema da segurança e atender às reivindicações de moradores residentes ao longo da ferrovia, em 2001 foi instalada a Comissão do Trem, na Câmara Municipal de Curitiba. Segundo Carriel (2009) a Comissão do Trem recomendou:

- Redução dos níveis sonoros produzidos pela buzina do trem;
- Diminuição do horário de circulação do trem de cargas não perecíveis, com tráfego permitido entre as 7h e 22h;
- Implantação de cancelas e equipamentos de sinalização;
- Regularização oficial sobre a responsabilidade das passagens de nível em todos os ramais de Curitiba;

- Padronização na sinalização e na manutenção dos cruzamentos da via férrea com a via urbana;
- Fiscalização conjunta e padronização no controle de acidentes ferroviários.

Segundo Carriel (2009), depois de 2002 os acidentes nas passagens de nível diminuíram e mantiveram-se a números constantes. No Ramal Rio Branco do Sul, que conta com muitas passagens de nível, em 2002 ocorreram 10 acidentes, já em 2003 e 2004, após a implantação da sinalização viária, o número de acidentes caiu para 5. A tabela 5 demonstra os acidentes para os anos de 2005 a 2007 no Ramal Rio Branco do Sul. Observa-se que os veículos que se envolveram em acidentes foram automóveis, caminhões, motos e ônibus.

TABELA 5 - ACIDENTES NO RAMAL RIO BRANCO DO SUL

Ano	Carros	Caminhões	Motos	Ônibus	Total
2005	2	0	1	1	4
2006	0	0	1	0	1
2007	0	0	0	0	0

FONTE: Carriel (2009)

No Ramal Jardim Botânico, a partir de 2002, o número de acidentes se manteve constante, com 5 acidentes por ano. A tabela 6 demonstra os acidentes para os anos de 2005 a 2007 no Ramal Jardim Botânico.

TABELA 6 - ACIDENTES NO RAMAL JARDIM BOTÂNICO

Ano	Carros	Caminhões	Motos	Ônibus	Total
2005	0	0	0	0	0
2006	2	1	1	1	5
2007	3	1	0	1	5

FONTE: Carriel (2009)

Apesar da pequena ocorrência dos acidentes na cidade de Curitiba, deve-se destacar que acidentes entre trens e automóveis ocasionam grandes danos, sendo em muitos casos acidentes fatais [Figura 14].



FIGURA 14 - ACIDENTES FERROVIÁRIOS

FONTE: SFS (2008); LEITÓLES (2011)

4.10 RUÍDO NO TRANSPORTE FERROVIÁRIO

O ruído de tráfego ferroviário é o ruído gerado e irradiado lateralmente a linha férrea, somado ao ruído existente dentro das próprias composições. A figura 15 demonstra uma representação da fonte, do caminho e do receptor.

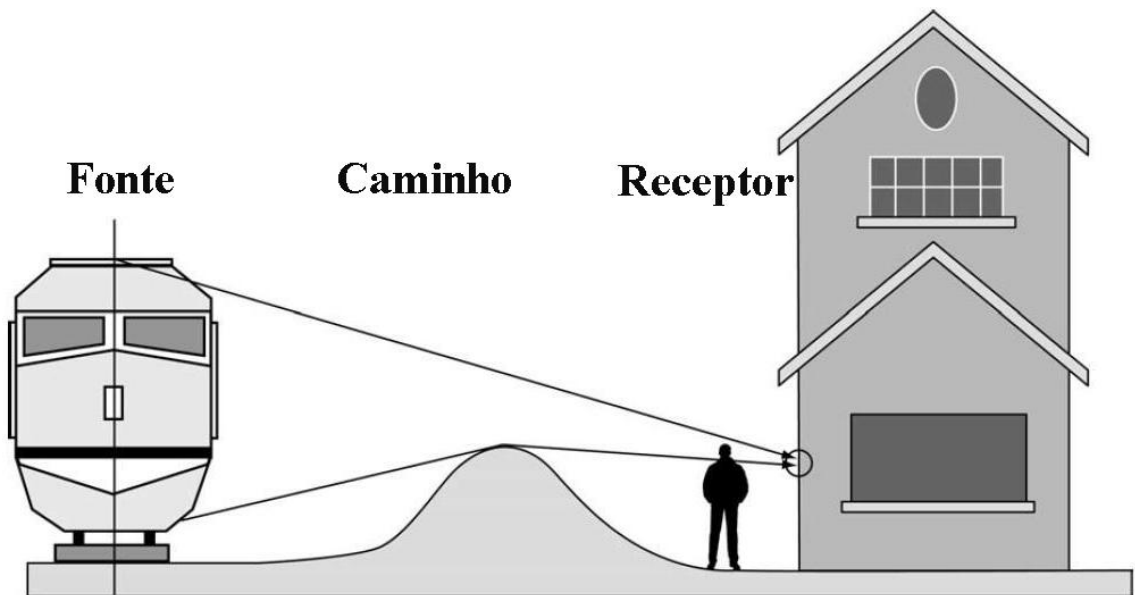


FIGURA 15 - ESQUEMA FONTE-CAMINHO-RECEPTOR

FONTE: Adaptado de Hanson *et. al.* (2006)

O ruído gerado pelas rodovias e pelas ferrovias possuem diferentes características. A fonte do ruído ferroviário é considerada intermitente, porém pode alcançar níveis de pressão

sonora mais elevados que o ruído rodoviário (DEPARTMENT OF PLANNING NSW, 2008). Segundo a literatura (BRONS, 2003; DEPARTMENT OF ENVIRONMENT AND CLIMATE CHANGE NSW, 2007; DEPARTMENT OF PLANNING NSW, 2008), as principais características do sistema ferroviário que podem determinar as emissões do ruído do trem são:

- Densidade de tráfego e frequência dos trens;
- Velocidade das composições;
- Tipos de trens (carga ou de passageiros);
- Infraestrutura ferroviária;
- Práticas operacionais;
- Uso de buzinas de sinalização;
- Desvios e localização de cruzamentos;
- Dimensão das barreiras acústicas (se existentes).

Segundo Brons (2003) e Alarcão *et. al.* (2008) as fontes específicas de emissão do ruído ferroviário podem ser classificadas em:

- Ruído de rolamento dos veículos sobre os trilhos em linha reta, sem discontinuidades;
- O ruído das discontinuidades sobre rodas ou trilhos, como cruzamentos e conjunturas;
- Ruídos provocados quando o veículo passa por curvas;
- Ruído gerado pelos motores a diesel;
- Ruído aerodinâmico, causado pela turbulência de elementos perturbadores no fluxo de ar ao longo do trem;
- Outras fontes, como frenagem, manutenção ferroviária, ruídos na estação ou ruídos devido a sinais de advertência (buzina).

A figura 16 mostra a existência da relação entre a velocidade do trem e o nível de emissão de ruído, além disso, também, apresenta quais fontes de ruído predominam em cada velocidade.

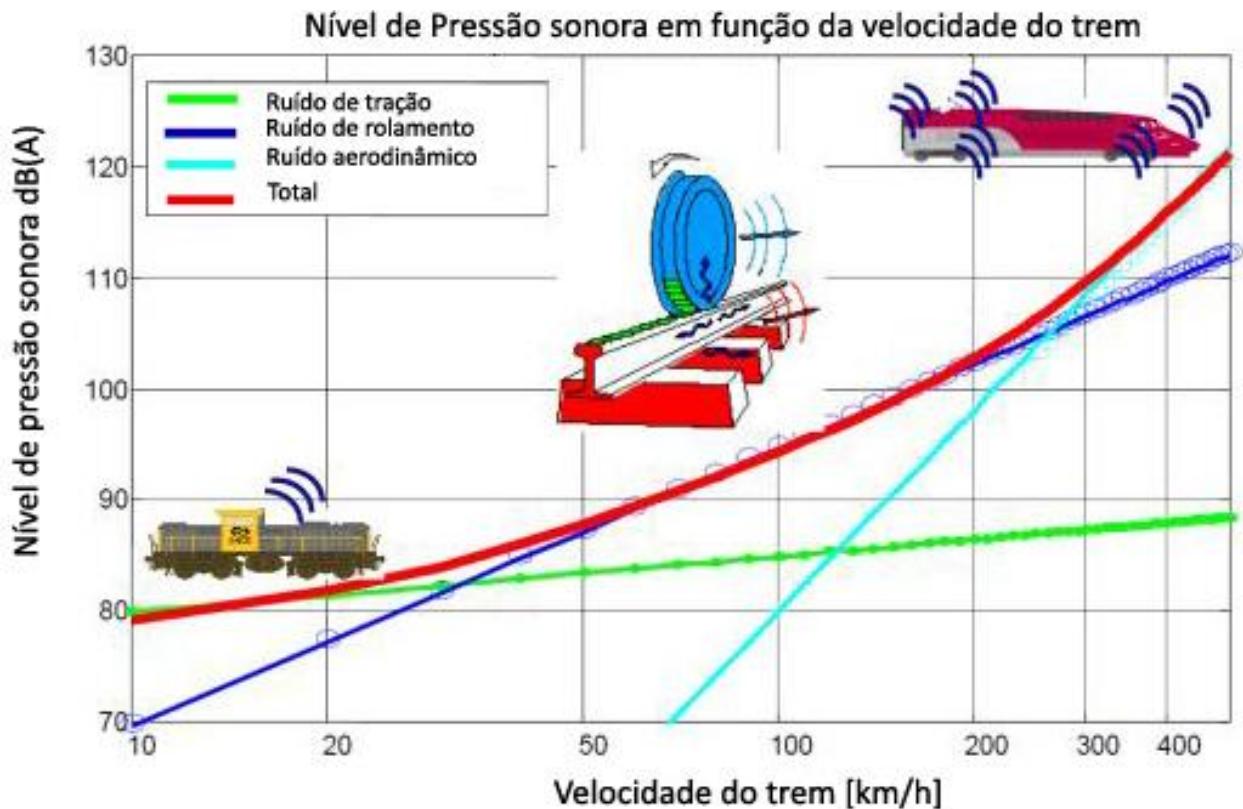


FIGURA 16 - FONTES SONORAS DO RUÍDO FERROVIÁRIO E A DEPENDÊNCIA COM A VELOCIDADE DO TREM

Fonte: Adaptado de *Working Group Railway Noise of the European Commission* (2003)

4.10.1 BUZINA

A buzina do trem [Figura 17], juntamente com outros meios de sinalização [Figura 18], são ferramentas utilizadas na prevenção de acidentes nas passagens de nível. No entanto, o nível sonoro gerado pela buzina cria um ruído significativo, que em muitas vezes, desvaloriza a qualidade de vida das comunidades onde os trens operam (REDDEN *et. al.*, 2005).

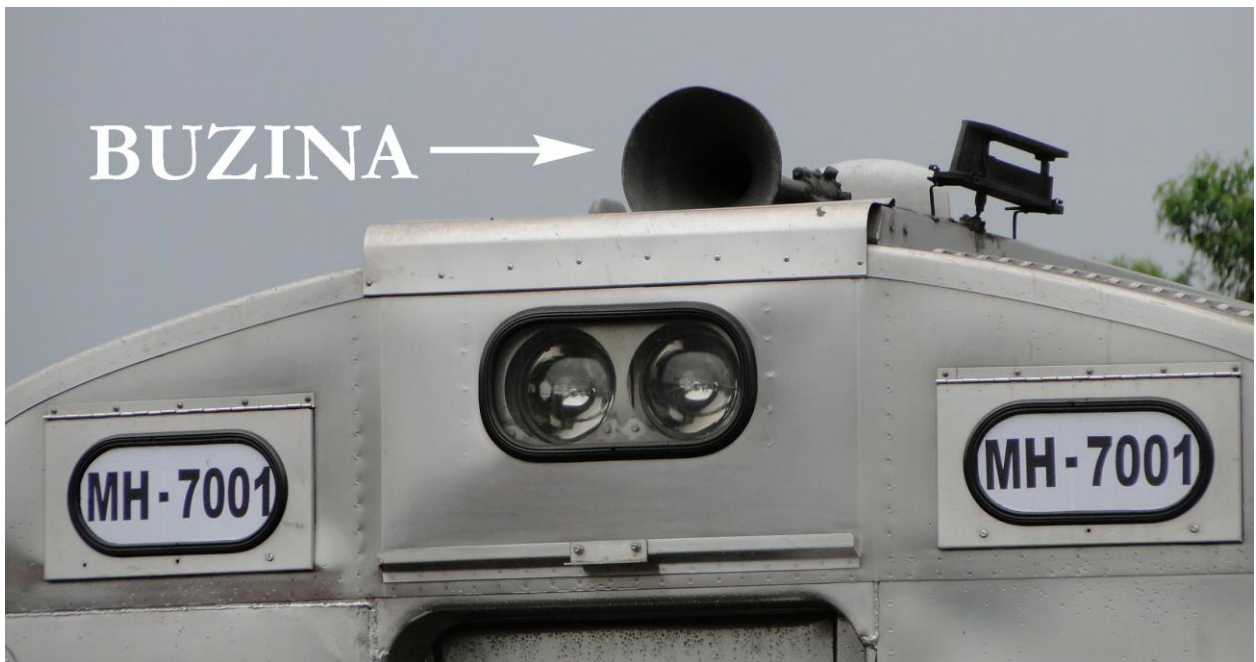


FIGURA 17 - BUZINA DE UMA LOCOMOTIVA

FONTE: O autor (2012)



FIGURA 18 - MEDIDAS DE SINALIZAÇÃO NAS PASSAGENS DE NÍVEL

FONTE: O autor (2012)

As buzinas das locomotivas produzem níveis de ruído próximos a 105 dB(A), cerca de 30m à frente da locomotiva. Este nível é reduzido de 5 a 10 dB(A) quando medido nas laterais da pista (HANSON *et. al.*,1998; REDDEN 2005; SINGAL, 2005). Deve-se assegurar que a intensidade da buzina seja suficiente para alcançar os motoristas das ruas perpendiculares aos trens com suficiente antecedência em relação ao cruzamento, para que os motoristas sejam capazes de responder (isto é, parar) com segurança (ROOP, 2000).

O quadro a seguir demonstra a comparação de diversas fontes de ruído e seus respectivos níveis sonoros.

QUADRO 1- FONTES DE RUÍDO E SEUS RESPECTIVOS NÍVEIS SONOROS

Níveis Sonoros dB(A)	Extremos	Eletrodomésticos	Fala a 1m	Veículos motorizados a 15m	Operações ferroviárias a 30m	Tipos gerais de ambiente	
120	Aeronave a 150m						
110					Buzina		
100				Sirenes			
90				Caminhão a diesel		Locomotiva	
80			Gritar			Vagões ferroviários	Grandes Metrópoles
70		Liquidificador	Voz alta		Automóvel a 110 km/h		
60		Máquina de lavar louça	Voz normal	Automóvel a 65 km/h		Urbano (período diurno)	
50		Ar condicionado	Voz normal (voltada ao ouvinte)	Automóvel a 30 km/h		Suburbano (período diurno)	
40		Refrigerador				Rural (período diurno)	
30							
20							
10							
0	Limiar da audição						

FONTE: Adaptado de Redden (2005).

A Figura 19 demonstra a diminuição dos níveis de pressão sonora de uma buzina em função da distância em um campo aberto.

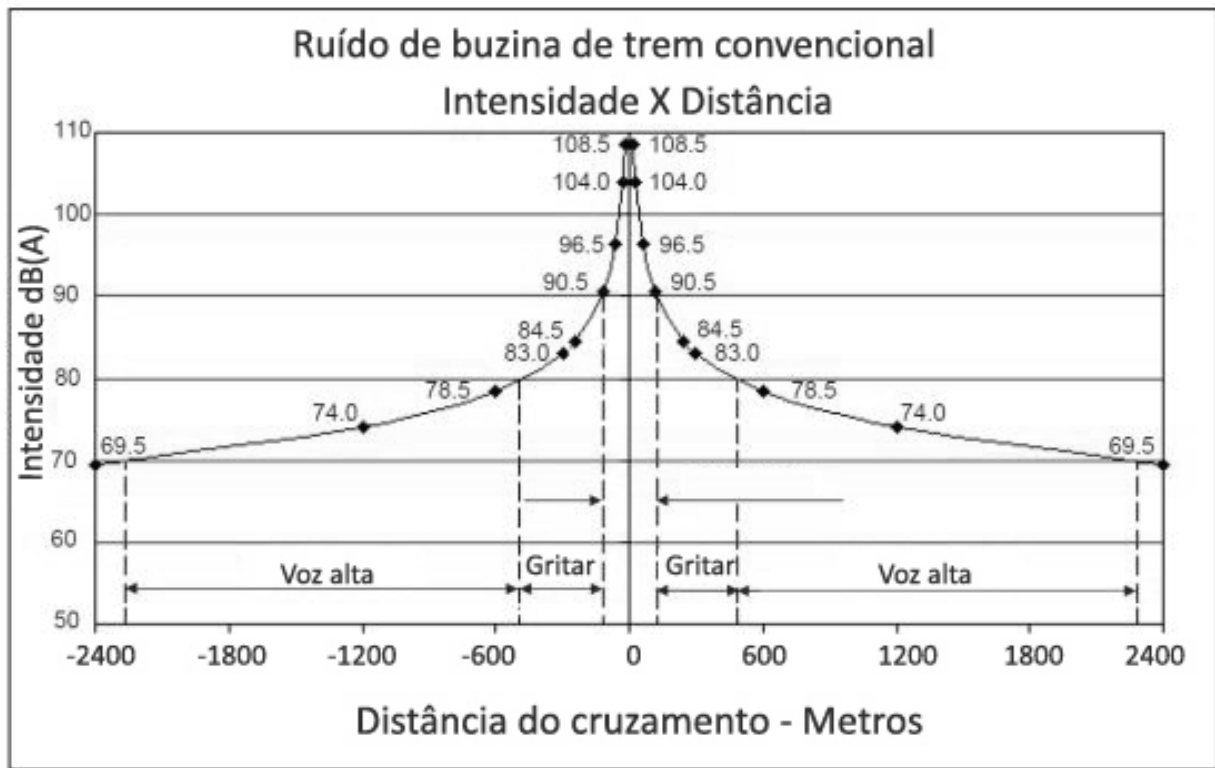


FIGURA 19 - RUÍDO DE UMA BUZINA DE TREM CONVENCIONAL

FONTE: Adaptado de Redden (2005)

Vários atributos contribuem para a eficácia da buzina de trem como um aviso para os motoristas e pedestres. Um dos atributos é a intensidade do sinal. Para ser detectada pelo ouvinte, a intensidade do sinal da buzina do trem deve ser maior do que o nível do ruído de fundo. Quanto maior for a intensidade do sinal em relação ao ruído de fundo, maior é a probabilidade do ouvinte detectar o sinal. Uma diferença de 10 dB(A) entre a buzina e o ruído ambiente é considerada adequada para detectar o sinal com segurança (BOFF *et. al.*, 1986; SORKIN, 1987). Nos EUA, os regulamentos federais exigem que a buzina de trem seja de 96 decibéis dB(A) a 30 metros na frente do trem em sua direção de viagem (CFR §229.129, 2006).

Para um residente que vive a 100 metros da passagem de nível, o sinal pode variar entre - 46 a 66 dB(A) - acima do ruído de fundo em um local externo a residência (MULTER & RAPOZA, 1998). Logo, o sinal é considerado como um valor muito alto em relação ao nível do ruído de fundo. O incômodo causado pela buzina do trem ocasiona muito mais do que problemas na saúde, interferindo também nas atividades diárias da população. As atividades que a buzina causa maior incômodo são apresentadas pela figura 20.

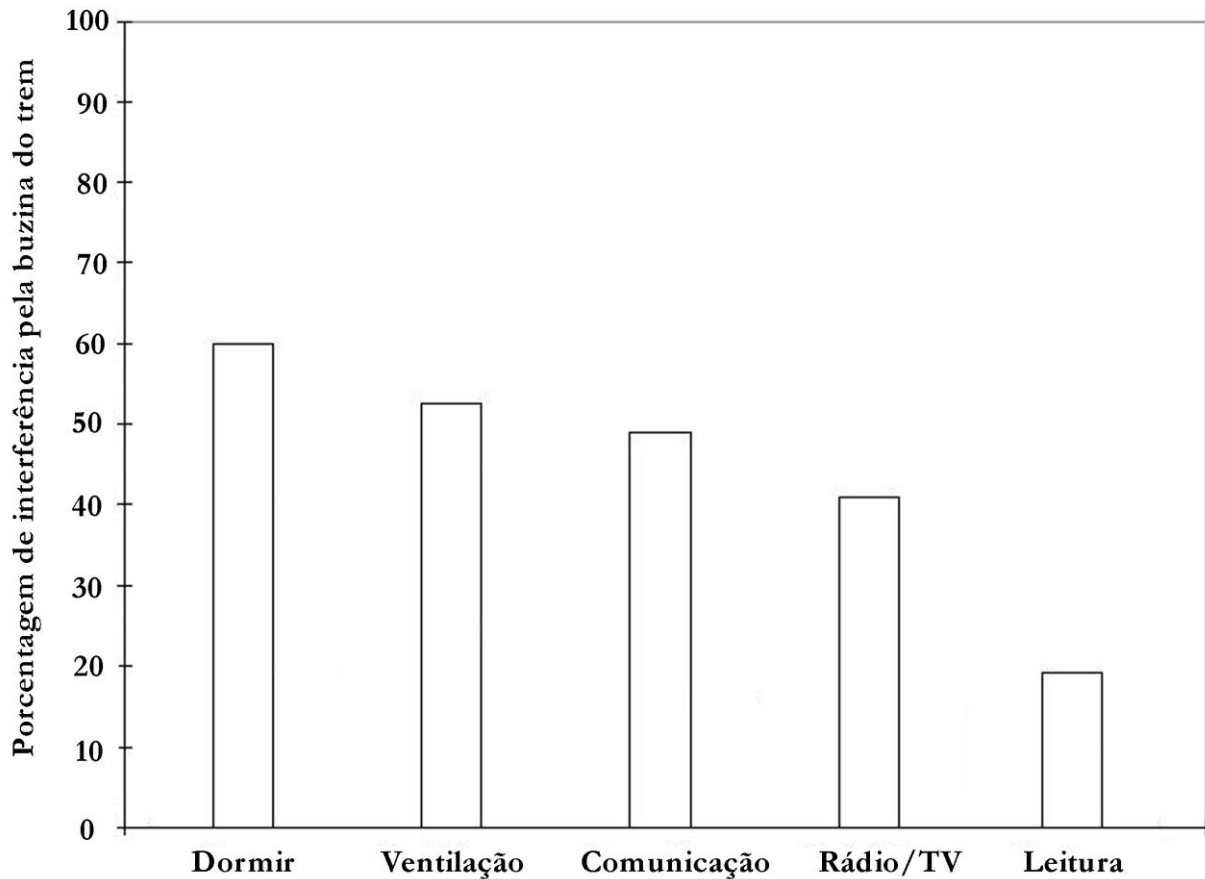


FIGURA 20: PORCENTAGEM DE INTERFERÊNCIA DA BUZINA DO TREM NAS ATIVIDADES DIÁRIAS

FONTE: Adaptado de Multer & Rapoza, 1998)

Para minimizar o impacto do ruído da buzina de trem, os residentes tomam uma série de ações que incluem: fechar as janelas, usar tampões de ouvido, aumentar o volume da sua TV ou rádio e construir instalações de isolamento. No entanto, estes passos variam na sua eficácia e criam problemas adicionais para o residente. Fechar janelas em clima quente pode tornar a casa mais quente e úmida, aumentando o desconforto. Instalações de isolamento, condicionadores de ar e barreiras acústicas trazem gastos financeiros para o proprietário ou locador (MULTER & RAPOZA, 1998).

4.10.1.1 FUNCIONAMENTO DA BUZINA

A buzina do trem se propaga a uma distância antes de chegar ao motorista. Devido à locomotiva e os motoristas estarem ambos em movimento, essa distância muda em função do tempo e velocidade. Existe um limite temporal onde a detecção do sinal da buzina do trem é fundamental, este é o instante em que o motorista deve reagir e acionar os freios do veículo para parar antes de chegar ao cruzamento, a fim de evitar uma colisão, o denominado tempo crítico (T_{cr}). O tempo crítico é função do tempo de reação dos motoristas (aproximadamente 2,5 segundos), da distância mínima até o veículo parar, da zona da faixa crítica, e do comprimento do veículo (RAPOZA & FLEMING, 2002).

Uma vez o T_{cr} calculado, a distância do caminho de propagação e o ângulo entre a buzina de trem e do motorista pode ser determinada. Esta distância é conhecida como a distância de aviso mínimo, definido como a distância entre o veículo e a parte dianteira da locomotiva no T_{cr} [Figura 21].

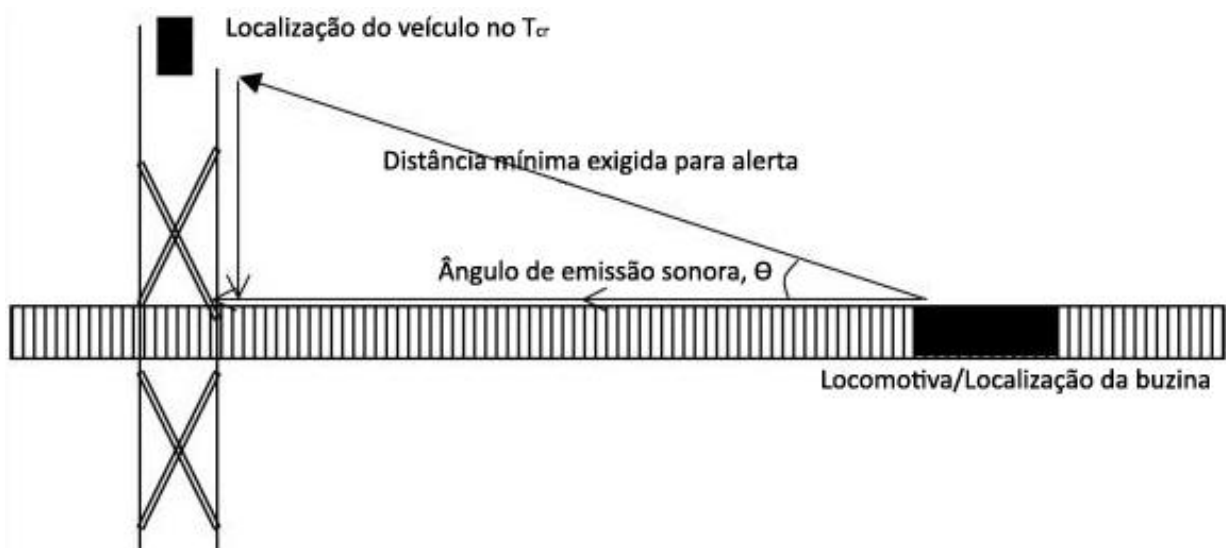


FIGURA 21 - GEOMETRIA CRÍTICA DE CRUZAMENTO

FONTE: Adaptado de Rapoza & Fleming, 2002)

Segundo regulamento de operações da ALL deve-se tocar a buzina da locomotiva antes de iniciar a movimentação, quando se aproximar de túneis, viadutos e/ou de uma passagem de nível, e quando as condições climáticas afetem a boa visibilidade (CIA AMBIENTAL, 2010). Os códigos de uso da buzina estipulados são:

- Sinais longo, longo, curto, longo - Aproximação de uma passagem de nível (exceto em perímetro urbano entre 20h e 7h). Deve-se começar a buzinar 100 metros antes da passagem de nível e continuar até que o trem ocupe a passagem totalmente;
- Sinais curto, curto - Aproximação de uma passagem de nível em perímetro urbano, no período compreendido entre 20h e 07h. Os toques devem ter dois segundos cada e espaçamento de dois segundos entre um toque e outro. Iniciar os toques aproximadamente 10 segundos antes da passagem de nível.

4.10.1.2 EXEMPLOS DE BUZINAS

As buzinas variam em função do tipo, da quantidade de cornetas e da intensidade sonora. Neste tópico são apresentados alguns exemplos de buzinas encontradas na literatura e que podem ser vistas acopladas às locomotivas [Figura 22].



FIGURA 22 - EXEMPLOS DE BUZINAS DE TREM

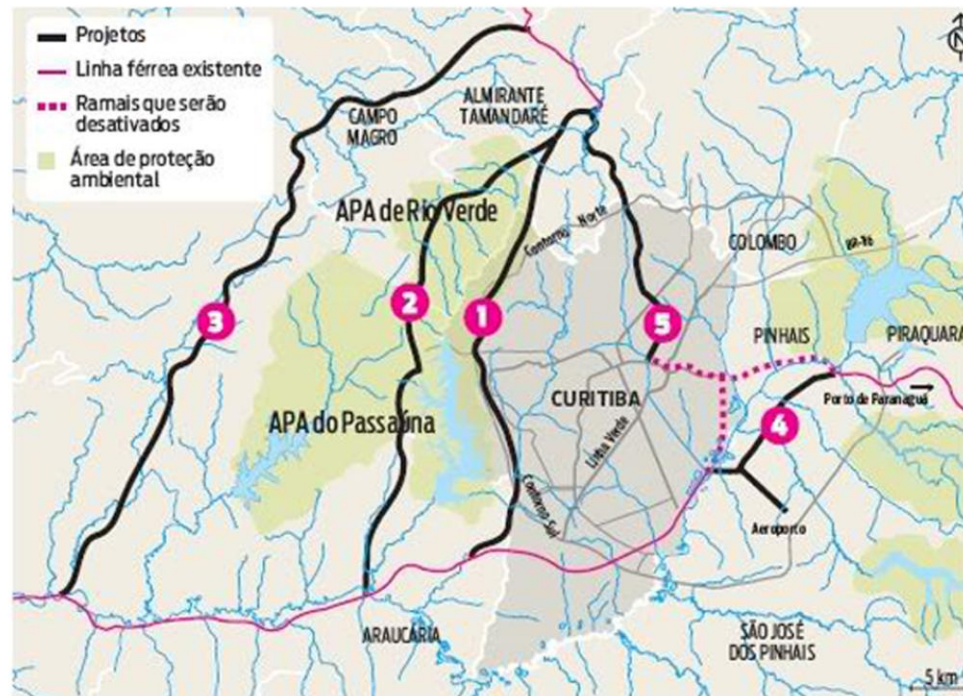
FONTE: Adaptado de Rapoza & Fleming, 2002)

4.11 CONTORNO FERROVIÁRIO

O ramal ferroviário que passa por Curitiba, Almirante Tamandaré e Pinhais cumpriu um importante papel no desenvolvimento do Paraná. Na época o traçado era condizente com as cidades, mas hoje é incompatível com a ocupação urbana e o adensamento da Região Metropolitana (SILVA, 2009). A presença da linha férrea em meio urbano causa diversos problemas a população lindeira à via, como poluição sonora, riscos de acidentes, problemas de circulação viária e desvalorização imobiliária (FALCÃO 2007; PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA, 2008; SILVA, 2009).

Para resolução destes transtornos foi desenvolvido o projeto do Contorno Ferroviário de Curitiba. O objetivo, deste projeto, é elevar os níveis gerais de segurança e qualidade de vida da população urbana residente próxima à ferrovia, reduzindo mortes, avarias e danos decorrentes de acidentes (PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA, 2008). Todas essas mudanças acarretariam em melhorias na qualidade de vida da população.

O projeto do Contorno Ferroviário existe há muitos anos, mas por dificuldades burocráticas, econômicas e ambientais, já foi modificado em muitos aspectos. As possíveis alternativas existentes para o Contorno Ferroviário estão descritas na figura 23.



1 Principal alternativa para o Contorno Oeste. A ideia é utilizar o traçado da rodovia nos Contornos Rodoviários Sul e Norte. Os trilhos poderiam ficar no canteiro central da rodovia em maior parte do trecho, reduzindo custos com desapropriações. Além disso, a área já é impactada. A desvantagem é a proximidade com a cidade.

2 O projeto original do Contorno Ferroviário passava por Araucária, Campo Largo, Campo Magro e Almirante Tamandaré. Não havia a previsão de integração com outros modais e ainda não existia o projeto

para o Contorno Ferroviário Leste. A ideia foi praticamente abandonada.

3 Chamada de Alternativa Extremo Oeste, passaria por Balsa Nova, Campo Largo, Campo Magro, Almirante Tamandaré e parte de Itaperuçu. A vantagem é que ficaria longe dos maiores adensamentos populacionais da região. A desvantagem é a extensão da malha, que aumentaria os custos de operação. Além disso, pode haver problemas de liberação ambiental.

4 No Contorno Ferroviário Leste, a ideia é ligar a malha já existente a uma

nova, que ficaria em São José dos Pinhais e seria ligada à ferrovia já existente que leva a Paranaguá na altura de Piraquara. Há dois traçados em estudo, um utilizando a área do canal extravasor e outra saindo diretamente do Aeroporto Afonso Pena. Depende da transferência das oficinas da ALL.

5 Se o Plano Diretor Multimodal sair do papel, poderá ser desativada a malha que corta Curitiba do norte ao centro da cidade, a ferrovia que leva a Pinhais e a malha existente na cidade vizinha. A malha na altura do Cajuru também seria desativada.

Custo estimado
R\$ 500 milhões

Em que fase está

As propostas estão sendo analisadas pelo governo federal, que deverá abrir uma licitação para a contratação da empresa que fará o estudo de viabilidade econômica e ambiental.

Próximos passos

Depois da definição da viabilidade e dos projetos escolhidos, será preciso obter as liberações ambientais. Depois serão licitados os projetos de engenharia e da obra.

Futuro das linhas em Curitiba

Segundo o Ippuc, a União poderá ceder a malha existente em Curitiba para a criação de praças e outras áreas de lazer.

FIGURA 23 - POSSÍVEIS ALTERNATIVAS PARA O CONTORNO FERROVIÁRIO E TRECHOS QUE SERÃO DESATIVADOS

FONTE: Lopes (2009)

4.12 BARREIRAS ACÚSTICAS

Para a implantação das medidas de atenuação de ruído deve-se considerar a gravidade da situação, bem como o contexto local para a aplicação desta medida (MURPHY & KING, 2010).

As barreiras acústicas têm como objetivo servir de anteparo para as ondas sonoras. O isolamento fornecido por uma barreira depende de alguns fatores como a posição, o comprimento e os materiais que a compõem. Para regiões que necessitam de um ambiente menos ruidoso, como hospitais e escolas, as barreiras acústicas podem ser uma boa alternativa para alcançar proteção e conforto acústicos adequados.

O crescimento do uso de barreiras acústicas na Europa, nos Estados Unidos e Austrália demonstra o aumento da preocupação da população em relação à poluição sonora causada por grandes projetos de infraestrutura, em particular, rodovias e ferrovias (KOTZEN & ENGLISH, 1999).

Como os custos de uma barreira acústica são muito elevados, um bom dimensionamento é necessário. A tabela 7 apresenta qual o custo e a redução, em teoria, proporcionada por uma barreira acústica em função da altura.

TABELA 7 - CARACTERÍSTICAS E REDUÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS DE UMA BARREIRA ACÚSTICA

Altura da barreira acústica	Custo (conversão para valores de fevereiro/2013)	Redução dos níveis sonoros
2 metros	1000 €/m \approx 2700 R\$/m	10 dB(A)
3 metros	1350 €/m \approx 3645 R\$/m	10 – 15 dB(A)
4 metros	1700 €/m \approx 4590 R\$/m	15 dB(A)

FONTE: Adaptado de *European Parliament's Committee on Transport and Tourism* (2012)

Apesar dos altos custos envolvidos na implantação de barreiras acústicas, a tabela 8 apresenta os investimentos realizados por países europeus em barreiras acústicas nos últimos anos.

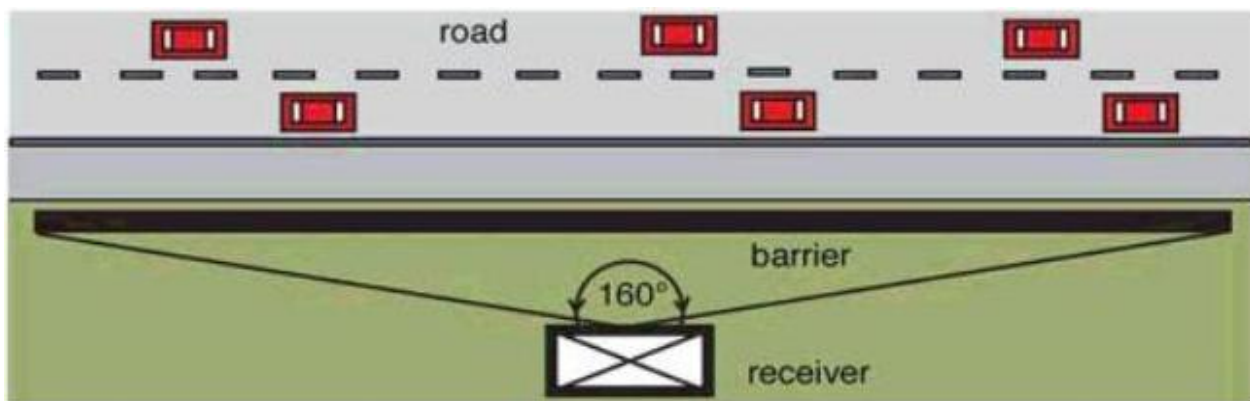
TABELA 8 - INVESTIMENTOS DE PAÍSES EUROPEUS EM BARREIRAS ACÚSTICAS

País	Barreiras acústicas construídas	Investimentos
Áustria	450 km (até 2009)	355 milhões de euros
República Tcheca	115 km (até 2010)	–
Dinamarca	46 km (até 2009)	–
França	–	193 milhões de euros
Alemanha	–	100 milhões de euros/ano
Holanda	–	430 milhões de euros
Suíça	111 km (até 2009) e 300 km (Até 2015)	1 bilhão de euros (Até 2015)

FONTE: Adaptado de UIC (2010)

O impacto adverso da intrusão visual para os vizinhos é um dos efeitos negativos de barreiras, juntamente com o seu potencial para bloquear a visão dos passageiros dentro do trem (adaptado de UIC, 2010).

As barreiras acústicas foram avaliadas através da simulação computacional, sendo esta uma das alternativas propostas para o controle dos elevados níveis sonoros provocados pelo ruído ferroviário. Uma barreira cobre um ângulo subentendido de 160° a partir do receptor para a estrada [Figura 24], garantindo que os raios difratados nas laterais não sejam significativos, pois a difração do som não ocorre somente no topo das barreiras, mas também nas laterais. Assim a redução total de uma barreira acústica não depende somente de sua altura e localização entre a fonte de ruído e o receptor, mas também do seu comprimento (KOTZEN & ENGLISH, 1999).

**FIGURA 24 - BARREIRA RETA COBRINDO UM ÂNGULO DE 160°**

FONTE: Kotzen & English (1999)

O comprimento da barreira pode ser reduzido dobrando as extremidades longe da estrada conforme nos mostra a figura 25 (KOTZEN & ENGLISH, 1999).

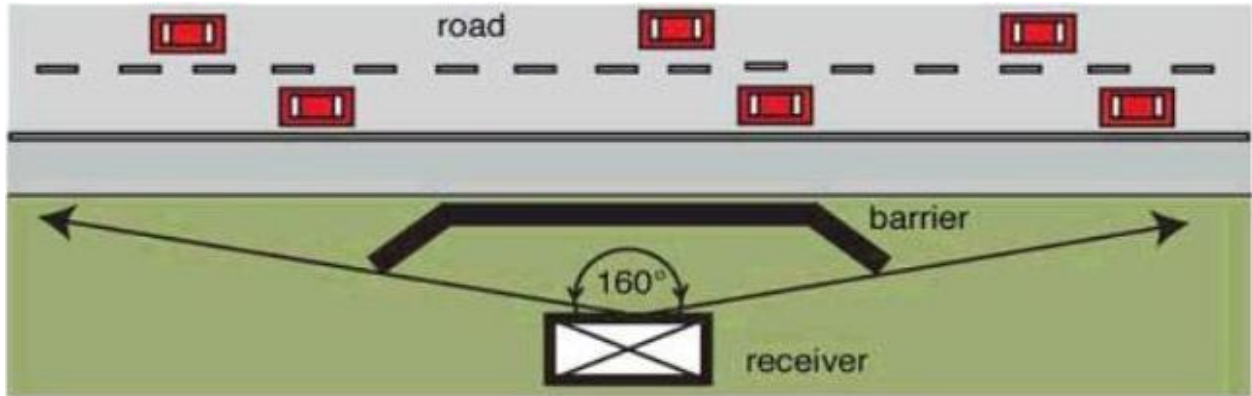


FIGURA 25 - BARREIRA CURVA COBRINDO UM ÂNGULO DE 160°

FONTE: Kotzen & English (1999)

As barreiras variam basicamente em função da geometria e do material. Alguns exemplos de barreiras são apresentados para demonstrar a grande quantidade de barreiras acústicas existentes [Figura 26].



FIGURA 26 - EXEMPLOS DE BARREIRAS ACÚSTICAS

FONTE: FHWA *et. al.*,(2000), SDG (2012), STAIANO ENGINEERING (2012).

4.13 MAPEAMENTO ACÚSTICO

Um mapa de ruído é uma representação gráfica dos níveis de som em uma região, durante um intervalo de tempo de referência. Os mapas de ruído podem ser utilizados para a avaliação dos níveis sonoros, a curto ou longo prazo, de modo que eles possam ser utilizados para a pré-avaliação dos planos de ação e medidas de controle de ruído. Esse tipo de avaliação é muito útil para o planejamento urbano acústico, para o uso da terra, e para a avaliação de impacto ambiental de qualquer atividade antes de sua implantação (ASENSIO *et. al.*, 2011). A utilização do mapeamento sonoro permite, além de uma melhor visualização do problema ocasionado pela poluição sonora, propor diferentes possíveis cenários, demonstrando o que pode ser feito para melhoria do problema.

Segundo a literatura (WG-AEN, 2006; KANG, 2007; REFER, 2008; TSAI *et. al.*, 2009; IRELAND EPA, 2011) os principais objetivos para o mapeamento do ruído ferroviário são:

- Identificar e quantificar o problema do ruído de tráfego ferroviário;
- Fornecer informações sobre o ruído ferroviário ao público em geral e aos responsáveis sobre a avaliação e gestão do ruído ambiental;
- Estabelecer objetivos para o controle de ruído;
- Definir estratégias e consequentes planos de ação destinados a gerir o ruído ambiental e os problemas dele derivados;
- Desenvolver planos de redução dos níveis sonoros e comparar resultados de diferentes cenários;
- Avaliar a exposição da população ao ruído;

Com a evolução dos recursos computacionais, uma série de softwares de mapeamento de ruído têm sido desenvolvidos, tais como CadnaA, ENM, Fluidyn, GIpSynoise, IMMI, LIMA, Mithra, Noisemap, Predictor, e SoundPLAN, para o cálculo da propagação do som em grandes áreas (KANG, 2007).

Os mapeamentos de ruído são baseados em uma série de algoritmos fundamentados em diversas normas a nível internacional (KANG, 2007). Para realização das simulações computacionais, um método de cálculo deve ser escolhido. Existem diversos métodos de predição

para o ruído ferroviário, como: método alemão Schall 03 (SCHALL 03, 1990), método austríaco ÖAL28 (ÖAL, 1987), método francês Guide du bruit (GUIDE DU BRUIT, 1980) e Mithra-Fer (MITRA-FER, 1994), método holandês SRMII (SRMII, 1996), método norueguês NMT (NMT, 1995), método suíço Semibel (SEMIBEL, 1990), método inglês Ashdown (ASHDOWN, 1995), entre outros (VAN LEEUWEN, 2000; OFFICE OF ENVIRONMENT AND HERITAGE AND STATE OF NSW, 2012). Os métodos de cálculo se diferem principalmente nos dados de entrada e nos procedimentos de cálculo.

4.13.1 SOUNDPLAN

O SoundPLAN é um software em ambiente MS-Windows[®], especialmente desenvolvido para a previsão de níveis de ruído e respectivo mapeamento. Um software de mapeamento de ruído apresenta-se como a solução adequada para quem tem de prever e controlar emissões de ruído, permitindo o cálculo e a apresentação da situação acústica atual de uma determinada área geográfica, bem como o resultado a esperar com a introdução de hipotéticas medidas de controle de ruído, (BRÜEL & KJÆR, 2011).

As grandes vantagens do software são (SOUNDPLAN, 2013):

- O SoundPLAN é um software consolidado, pois foi um dos primeiros softwares de modelagem de ruído presente no mercado, estreando em 1986;
- O SoundPLAN pode ser usado tanto para pequenos projetos como no mapeamento de grandes aglomerações, ou seja, não há limites para o número ou tamanho de objetos ou projetos;
- O SoundPLAN possui o maior número de usuários de software de simulação de ruído em todo o mundo, sendo amplamente utilizado por administradores, autoridades, universidades e consultores de engenharia;
- O SoundPLAN atende as principais normas nacionais e internacionais (cerca de 50 normas);
- O SoundPLAN além de representar os níveis sonoros de uma região, pode através de um de seus módulos (MISKAM) simular a dispersão de poluentes atmosféricos de estradas e fontes industriais.
- O SoundPLAN está disponível em 14 idiomas.

O software SoundPLAN se apresenta como uma ferramenta eficiente para obtenção dos objetivos acima citados. O software calcula através de interpolação, os níveis sonoros em função de sua propagação desde a fonte geradora até uma distância pré-determinada, representados por um mapa em escala de cores [Figura 27].

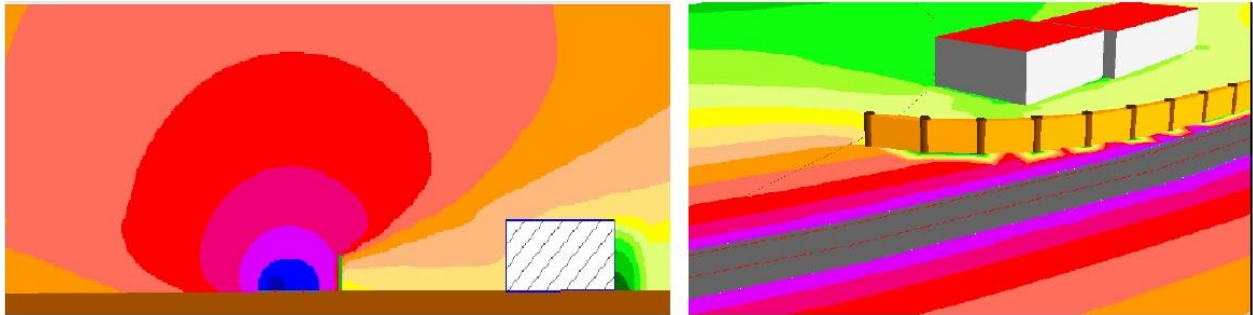


FIGURA 27 - MAPEAMENTOS ACÚSTICOS REALIZADOS PELO SOFTWARE SOUNDPLAN.
FONTE: SoundPLAN (2004).

Este software vem sendo amplamente utilizado para avaliação de impactos ambientais sonoros em muitos países, como Estados Unidos, China, Alemanha, Brasil, Coreia do Sul, entre outros. As figuras 28, 29 e 30 apresentam alguns locais avaliados com o software SoundPLAN.

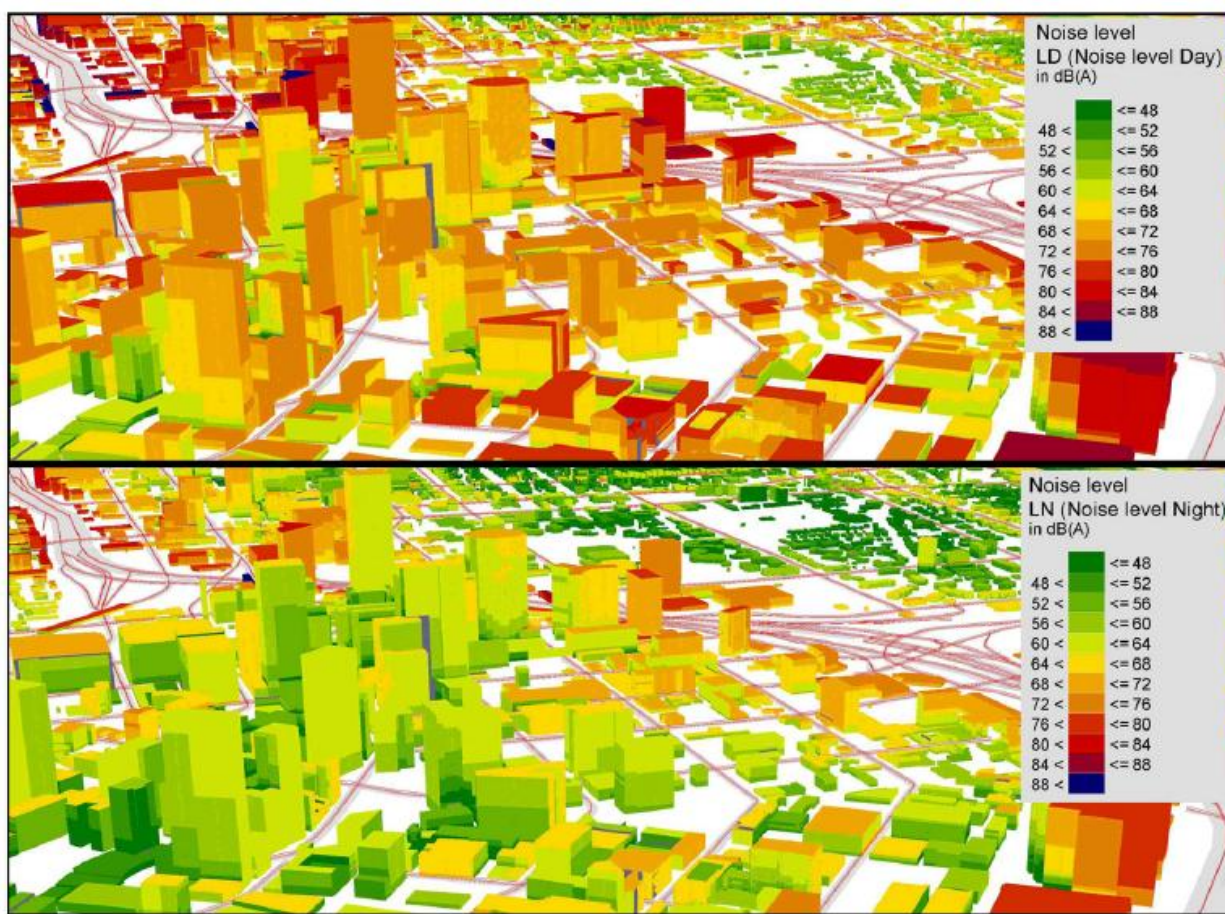


FIGURA 28 - MAPEAMENTOS ACÚSTICOS REALIZADOS PELO SOFTWARE SOUNDPLAN EM FULTON COUNTY, GEORGIA, USA.

Fonte: Seong et al. (2011)

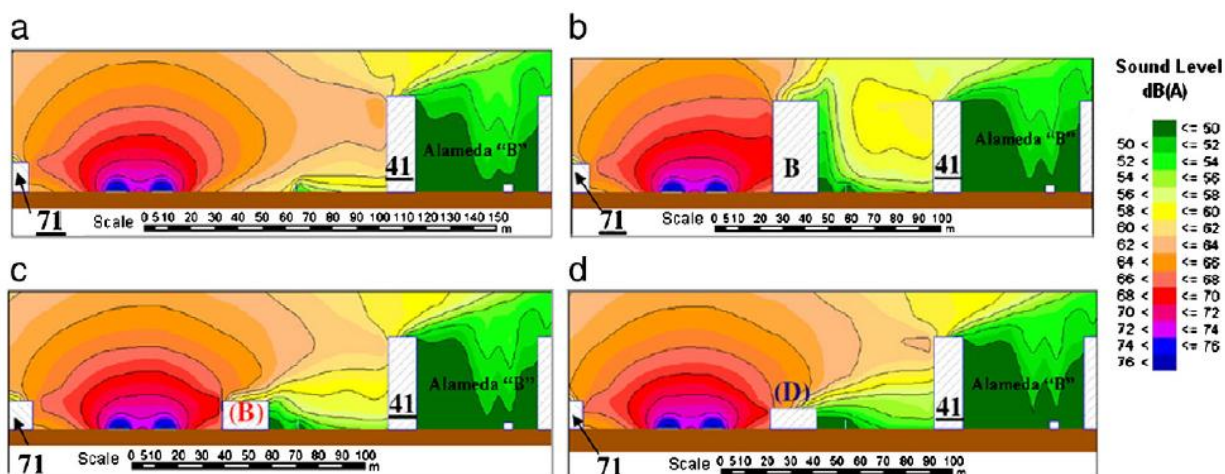


FIGURA 29 - MAPEAMENTOS ACÚSTICOS REALIZADOS PELO SOFTWARE SOUNDPLAN EM ARACAJU, SERGIPE, BRAZIL.

Fonte: Guedes et al. (2011)



FIGURA 30 - MAPEAMENTOS ACÚSTICOS REALIZADOS PELO SOFTWARE SOUNDPLAN NA CIDADE DE CHUNGJU, COREIA DO SUL.

Fonte: Ko et al. (2011)

4.13.2 SCHALL 03

Este tópico abordará de forma sucinta o método alemão Schall 03 para o cálculo do ruído ferroviário. Uma descrição mais detalhada pode ser encontrada na “*Richtlinie zur berechnung der schallimmissionen von schienenwegen*” (SCHALL 03, 1990).

O método foi desenvolvido pela “*German Federal Railroad (Deutsche Bundesbahn)*” baseado na edição de 1990. Este método avalia os níveis sonoros para o período diurno (6h às 22h) e para o período noturno (22h às 6h). No método alemão, o nível de emissão sonora pode ser calculado de 2 modos distintos: 1) Calculado pelos dados do fluxo e 2) Calculado por dados inseridos diretamente no software – medições sonoras (SOUNDPLAN, 2004).

Para realização do cálculo dos níveis sonoros via fluxo de tráfego, os seguintes dados de entrada devem ser inseridos:

- A característica do trem (carga ou transporte);
- A porcentagem de freio a disco;
- O comprimento do trem;
- A velocidade do trem (alta, média, baixa velocidade).

Pelo segundo método, o cálculo dos níveis sonoros é via inserção dos valores medidos como dados de entrada. O método alemão ainda determina a realização de alguns ajustes para o cálculo dos níveis sonoros. Os principais ajustes permitidos pelo modelo variam em função do tipo da via e da presença de pontes, passagens de nível e curvas fechadas.

Segundo o método de cálculo ferroviário Schall 03, a fórmula utilizada na propagação dos níveis sonoros ao longo da ferrovia é:

$$L_{r,k} = L_{m,E,k} + 19,2 + 10 * \log_{lk} + D_{I,K} + D_{s,k} + D_{BM,k} + D_{Korr,k} + \text{Correções} \quad (7)$$

Onde:

- $L_{r,k}$: Nível sonoro no ponto receptor causado por uma seção simples do trem;
- $L_{m,E,k}$: Nível de emissão sonora atribuída à seção do trem;
- lk : Comprimento de uma seção do trem dentro de uma área investigada;
- $D_{I,K}$: Diretividade da fonte Sonora;

$$D_{I,K} = 10 * \log(0,22 + 1,27 * \sin^2 \delta_k)$$

Sendo δ o ângulo da diretividade;

- $D_{s,k}$: Espalhamento;

$$\text{Sendo } D_{s,k} = 10 * \log[1/(2 * \pi * \text{distância da fonte ao receptor})^2_k]$$

- $D_{l,K}$: Absorção atmosférica;

$$D_l = -(\text{distância entre a fonte e o receptor})/200$$

- $D_{BM,k}$: Influência do terreno e atenuação meteorológica;

$$D_{BM} = (a_h_l_s)/Dist\ S * (34 + 600/Dist\ S - 4,8 < 0$$

$a_h_l_s$: representa a altura média da linha de visão para a integração da distância entre a linha de visão e o solo dividido pela distância da fonte até o receptor;

Dist S: Distância entre a fonte e o receptor;

- $D_{Korr,k}$: Influência das superfícies de reflexão.

4.13.3 ISO 9613

Este tópico abordará uma breve apresentação do método de cálculo ISO 9613, utilizado para descrever a buzina do trem no modelo computacional. Uma descrição mais detalhada pode ser encontrada nas normas “ISO 9613–1: Attenuation of sound during propagation outdoors, Part 1: Calculation of sound by the atmosphere (first edition 1993-06-01)” (ISO, 1996) e “ISO 9613–2: Attenuation of sound during propagation outdoors, Part 2: General method of calculation (first edition 1996-12-15) (ISO, 1996).

As fórmulas de cálculo baseadas na ISO 9613 ½, são:

$$L_{lt,per} = L_{dw} - C_m - C_{t,per} \quad (8)$$

$$L_{dw} = L_W - R - A \quad (9)$$

- $L_{lt,per}$: Nível de pressão sonora em dB(A) de longa duração em oitava (ou 1/3 de oitava) durante o período de avaliação;
- C_m : Correção meteorológica em dB;
- $C_{t,per}$: Correção para o tempo de atividade da fonte durante o período de avaliação em dB;
- L_{dw} : Nível de pressão sonora equivalente contínuo em dB(A) em oitava (ou 1/3 de oitava);
- L_W : Nível de potência sonora em dB(A) em oitava (ou 1/3 de oitava);
- R : Redução da fonte definida pelo usuário em dB em oitava (ou 1/3 de oitava);
- A : Atenuação (por banda de oitava) em dB em oitava (ou 1/3 de oitava);

A atenuação A é calculada da seguinte forma:

$$A = D_c + A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{fol} + A_{site} + A_{hous} \quad (10)$$

- D_c : Correção da diretividade em dB;
- A_{div} : é a atenuação provocada pela divergência entre a fonte e o receptor em dB;
- A_{atm} : Absorção atmosférica em dB/oitava (ou 1/3 de oitava);
- A_{gr} : Atenuação provocada pelo solo em dB/oitava (ou 1/3 de oitava);
- A_{bar} : é a atenuação provocada por obstáculos (edifícios, topografia, muros, etc.) em dB/ oitava (ou 1/3 de oitava);
- A_{fol} : Atenuação devido a vegetação e folhagem em dB/oitava (ou 1/3 de oitava);
- A_{site} : Atenuação devido a instalações de uma indústria em dB/oitava (ou 1/3 de oitava);
- A_{hous} : Atenuação devido a residências em dB.

O método ISO 9613 foi utilizado para o cálculo da buzina do trem. Para realização do cálculo dos níveis de pressão sonora alguns dados de entrada da fonte devem ser inseridos, sendo destacados:

- A intensidade sonora da buzina;
- Período avaliado;
- A distância em que a fonte permaneceu ativa.

4.14 ANÁLISE CRÍTICA

O impacto ambiental sonoro provocado pelo transporte ferroviário na cidade de Curitiba é um tema muito questionado pela população lindeira à via férrea. Até o presente momento, uma avaliação criteriosa não havia sido realizada. Devido estes fatos, este estudo traz a tona um grande desafio e uma motivação extra para realização desta dissertação de mestrado.

As dificuldades enfrentadas na avaliação da poluição sonora gerada pelo tráfego ferroviário na cidade de Curitiba não foram poucas, isto se dá ao fato deste estudo ser um dos precursores na avaliação de impactos ambientais sonoros em áreas densamente urbanas. Os itens que causaram as principais dificuldades foram:

- Falta de informações - Não divulgação dos horários da passagem do trem pela empresa que opera as ferrovias na cidade de Curitiba;
- Tema pouco estudado no Brasil – Não existe literatura nacional que aborde o tema com o detalhamento necessário. Para isso, teve-se que recorrer a literatura internacional, principalmente de países com ferrovias de grande fluxo (Alemanha, França, Holanda, Polônia, EUA, entre outros);
- Dificuldade na realização das medições devido a fatores meteorológicos – A presença de chuva impossibilita a realização das medições sonoras, devido à grande sensibilidade dos equipamentos utilizados. A cidade de Curitiba, local do estudo, é uma cidade onde se tem mais de 180 dias de chuva por ano (CESCA, 2011).
- Substituição do software de mapeamento acústico durante o estudo – Ao início do estudo, os mapeamentos de ruído seriam realizados pelo software Predictor 7810, porém o software não permite a avaliação de apenas uma passagem de trem (o que ocorre em poucos minutos). O software permite apenas o fluxo de trens para o período mínimo de 1 hora. A partir disto, foi utilizado o software SoundPLAN, com o qual foram realizados todos os mapas de ruído aqui apresentados.

Apesar do sucateamento nas últimas décadas do modal ferroviário e dos problemas das linhas existentes, o governo brasileiro planeja para os próximos anos um pesado investimento no setor ferroviário (mais de 150 bilhões de reais até 2023). Com isso, mais ferrovias serão construídas e o fluxo das composições férreas tende a aumentar cada vez mais.

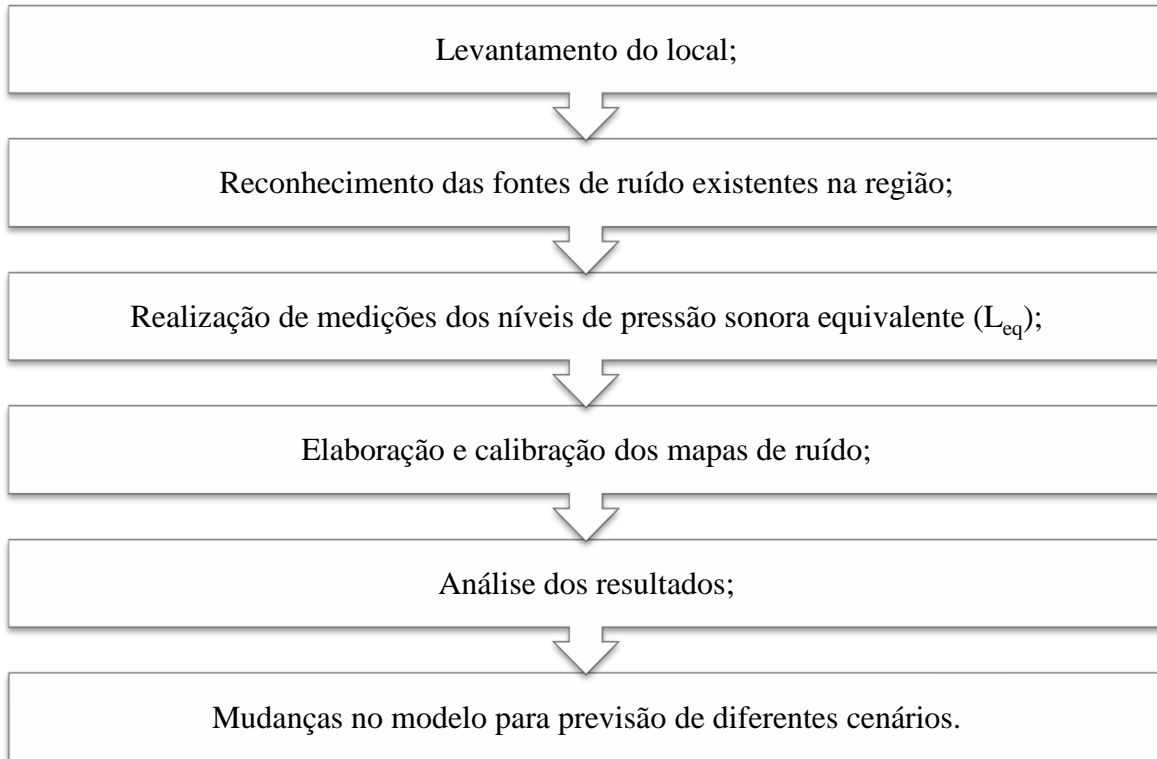
Este documento se apresenta como um manual, para que outras cidades brasileiras possam minimizar os impactos ambientais sonoros provocados pelo modal ferroviário. A sociedade obterá grandes benefícios com a avaliação dos impactos ambientais sonoros ocasionados pelo ruído ferroviário, sendo os principais impactos positivos: 1) Inovação tecnológica; 2) Busca do desenvolvimento sustentável; 3) Melhoria da qualidade de vida da população.

Ao longo do estudo, a simulação computacional se apresentará como uma importante ferramenta de planejamento ambiental. Apesar de todos os benefícios aqui apresentados, a simulação computacional possui alguns pontos negativos, sendo eles:

- O preço da licença do software é elevada – Por este motivo os softwares de mapeamento acústico são pouco utilizado no Brasil;
- O Software exige conhecimentos em CAD (*computer-aided design*) e SIG (Sistema de Informações Geográficas) para realização dos modelos;
- Inexistência da vinculação de mapas de ruído para avaliação dos impactos ambientais sonoros no Brasil – Após a segunda metade da década de 90, os países europeus colocaram em prática políticas de avaliação e gestão do ruído ambiental via mapeamentos de ruído (REFER, 2008).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o estudo dos impactos ambientais sonoros gerados na ferrovia, foi seguida a sequência metodológica abaixo:



5.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi elaborado com abordagem nos dois principais ramais ferroviários da cidade de Curitiba, o Ramal Jardim Botânico e o Ramal Rio Branco do Sul. Estes ramais possuem uma grande interação com a malha urbana, causando a passagem do trem um grande impacto ambiental sonoro nos seguintes bairros: Ahú, Alto Boqueirão, Alto da XV, Bacacheri, Barreirinha, Boa Vista, Boqueirão, Cabral, Cachoeira, Cajuru, Capão da Imbuia, Cidade Industrial, Cristo Rei, Hugo Lange, Jardim Botânico, Rebouças, Uberaba, São Lourenço, Sítio Cercado, Tatuquara, Uberaba, Umbará, entre outros. Segundo o banco de dados do IPPUC – Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC, 2012), o número de pessoas que residem nos bairros onde a linha férrea transita, ultrapassa o número de 750 mil habitantes,

sendo a população total da capital paranaense de aproximadamente 1.800.000 habitantes (IBGE, 2010).

A cidade de Curitiba possui 48 passagens de nível, sendo que no estudo foram avaliadas 26 passagens de nível (totalizando mais da metade de todas as passagens de nível da cidade). A grande quantidade de pontos escolhidos se dá ao fato da avaliação do ruído ferroviário na cidade de Curitiba, aqui apresentado, ser um dos precursores na avaliação do ruído ferroviário no país.

As medições e simulações foram realizadas apenas para os trens de cargas, pois apenas 1 trem diário de passageiros circula na cidade de Curitiba. Este trem percorre o Ramal Jardim Botânico com destino ao litoral.

5.1.1 RAMAL JARDIM BOTÂNICO

O Ramal Jardim Botânico possui mais de 6 km de extensão dentro do perímetro da cidade de Curitiba. Este trecho é densamente habitado, trazendo o ruído ferroviário grande incômodo aos residentes destes locais. Para avaliação do ruído ferroviário gerado nesta linha, foram estimados 7 locais de medição nas 7 passagens de nível existentes dentro do perímetro da cidade de Curitiba. A proximidade de grandes hospitais – Hospital Cajuru e Hospital Marcelino Champagnat – e escolas em relação à linha férrea, contribuíram para escolha dos locais de medição. As medições foram realizadas nos cruzamentos da linha férrea com as seguintes ruas e avenidas [Figura 31]:

- 1) Entre a Avenida Affonso Camargo/Doutor Dário Lopes dos Santos e Rua Schiller;
- 2) Entre a Avenida Affonso Camargo/Prefeito Maurício Fruet e Rua Governador Agamenon Magalhães – 1ª Passagem de nível – 2 Passagens de nível no mesmo local;
- 3) Entre a Avenida Affonso Camargo/Prefeito Maurício Fruet e Rua Governador Agamenon Magalhães – 2ª passagem de nível – 2 Passagens de nível no mesmo local;
- 4) Entre a Avenida Affonso Camargo/Prefeito Maurício Fruet e Rua Governador Agamenon Magalhães;
- 5) Entre a Avenida Affonso Camargo/Prefeito Maurício Fruet e Rua José Rissato/Antônio Olívio Rodrigues/Santo André;
- 6) Entre a Avenida Affonso Camargo/Prefeito Maurício Fruet e Rua Professor Nivaldo Braga – 1ª passagem de nível – 2 Passagens de nível no mesmo local.

- 7) Entre a Avenida Affonso Camargo/Prefeito Maurício Fruet e Rua Professor Nivaldo Braga – 2ª passagem de nível – 2 Passagens de nível no mesmo local.

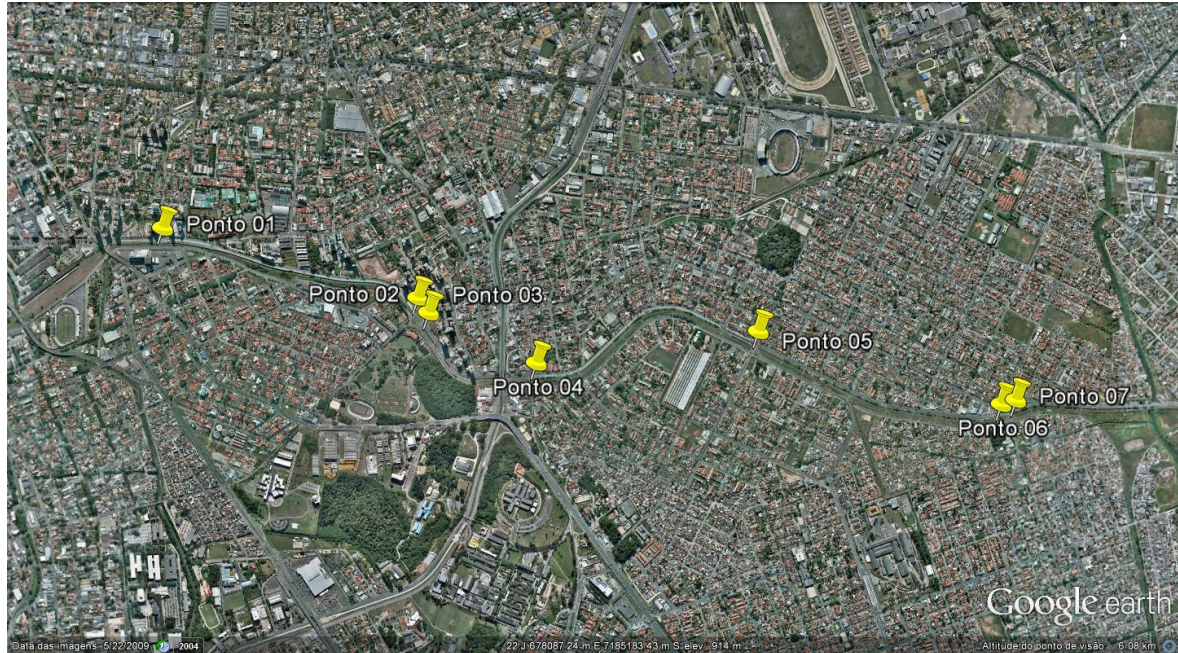


FIGURA 31 - PONTOS DE MEDIÇÃO NO RAMAL JARDIM BOTÂNICO

FONTE: INAV/GEOSISTEMAS SRL, 2009 IN GOOGLE EARTH FOR WINDOWS V.5.2 (2012)

As figuras 32, 33, 34 e 35 demonstram alguns dos locais de medição no Ramal Jardim Botânico.



FIGURA 32 - PASSAGEM DE NÍVEL ENTRE A AVENIDA AFFONSO CAMARGO/PREFEITO MAURÍCIO FRUET E RUA GOVERNADOR AGAMENON MAGALHÃES
 FONTE: INAV/GEOSISTEMAS SRL, 2009 IN GOOGLE EARTH FOR WINDOWS V.5.2 (2012)



FIGURA 33 - PASSAGEM DE NÍVEL ENTRE A AVENIDA AFFONSO CAMARGO/PREFEITO MAURÍCIO FRUET E RUA JOSÉ RISSATO/ANTÔNIO OLÍVIO RODRIGUES/SANTO ANDRÉ
 FONTE: INAV/GEOSISTEMAS SRL, 2009 IN GOOGLE EARTH FOR WINDOWS V.5.2 (2012)



FIGURA 34 - PASSAGEM DE NÍVEL ENTRE A AVENIDA AFFONSO CAMARGO/PREFEITO MAURÍCIO FRUET E RUA GOVERNADOR AGAMENON MAGALHÃES
 FONTE: INAV/GEOSISTEMAS SRL, 2009 IN GOOGLE EARTH FOR WINDOWS V.5.2 (2012)



FIGURA 35 - PASSAGEM DE NÍVEL ENTRE A AVENIDA AFFONSO CAMARGO/PREFEITO MAURÍCIO FRUET E RUA PAULO KISSULA
 FONTE: INAV/GEOSISTEMAS SRL, 2009 IN GOOGLE EARTH FOR WINDOWS V.5.2 (2012)

TABELA 9 - NÍVEIS SONOROS PERMITIDOS NO RAMAL JARDIM BOTÂNICO

Pontos	Zoneamento	Período diurno	Período vespertino	Período noturno
1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7	ZR-4, SE, SE- BR-116 e SE-AC	65 dB(A)	60 dB(A)	55 dB(A)

Para todos os locais de medição, os níveis sonoros máximos permitidos são de 65 dB(A) para o período diurno, 60 dB(A) para o período vespertino e 55 dB(A) para o período noturno.

Deve-se destacar que nas proximidades dos Hospitais Cajuru e Marcelino Champagnat e do Colégio Estadual Professora Maria A. Teixeira, segundo a lei municipal 10.625/02, devem ser atendidos os limites estabelecidos para ZR-1 (55 dB(A) para período diurno, 50 dB(A) para o período vespertino e 45 para o período noturno). Um raio de 200m (duzentos metros) de distância deve ser definido para determinar a zona de silêncio.

5.1.2 RAMAL RIO BRANCO DO SUL

O Ramal rio Branco do Sul atravessa mais de 11 km da cidade de Curitiba com destino a Rio Branco do Sul. A linha férrea, neste ramal, corta diversos bairros, desde locais densamente habitados até locais pouco habitados, possuindo uma grande interação com as vias urbanas. Para avaliação do ruído ferroviário gerado nesta linha, foram estimados 19 locais de medição. Os locais escolhidos para medição foram realizados nos cruzamentos da linha férrea com as seguintes ruas e avenidas [Figura 37]:

- 1) Avenida Presidente Affonso Camargo;
- 2) Rua Francisco Alves Guimarães;
- 3) Avenida Senador Souza Naves;
- 4) Rua Reinaldo S. de Quadros;
- 5) Rua Fernando Amaro;
- 6) Rua Marechal Deodoro;
- 7) Rua XV de Novembro;
- 8) Rua Professor Brandão;
- 9) Rua Itupava;
- 10) Rua Fernandes de Barros;
- 11) Rua Augusto Stresser;

- 12) Rua Jaime Balão;
- 13) Avenida Munhoz da Rocha;
- 14) Rua Nicarágua;
- 15) Rua Canadá;
- 16) Avenida Paraná;
- 17) Rua Jovino do Rosário;
- 18) Rua Vicente Ciccarino;
- 19) Rua Simão Mansur/Rua Flávio Dallegrave.



FIGURA 37 - PONTOS DE MEDIÇÃO NO RAMAL RIO BRANCO DO SUL
FONTE: INAV/GEOSISTEMAS SRL, 2009 IN GOOGLE EARTH FOR WINDOWS V.5.2 (2012)

As Figuras 38, 39, 40 e 41 demonstram alguns dos locais de medição no Ramal Rio Branco do Sul.



FIGURA 38 - PASSAGENS DE NÍVEL COM A AVENIDA PRESIDENTE AFFONSO CAMARGO, RUA FRANCISCO ALVES GUIMARÃES E AVENIDA SENADOR SOUZA NAVES
 FONTE: INAV/GEOSISTEMAS SRL, 2009 IN GOOGLE EARTH FOR WINDOWS V.5.2 (2012)



FIGURA 39 - PASSAGENS DE NÍVEL COM A RUA FERNANDO AMARO, RUA MARECHAL DEODORO E RUA XV DE NOVEMBRO
 FONTE: INAV/GEOSISTEMAS SRL, 2009 IN GOOGLE EARTH FOR WINDOWS V.5.2 (2012)

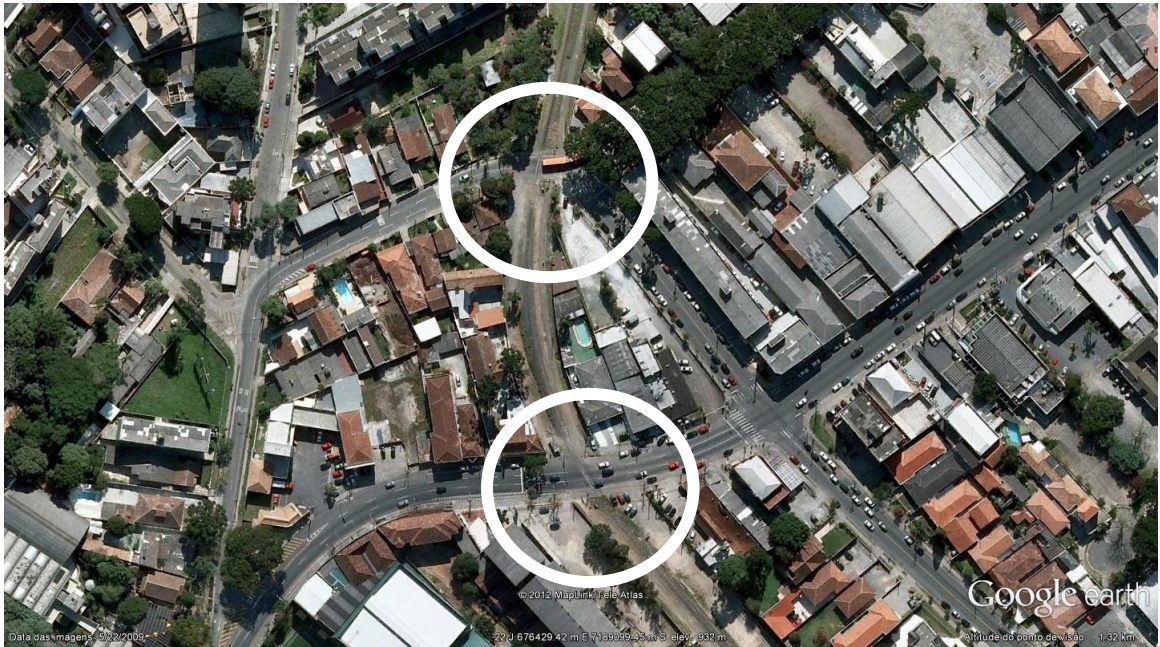


FIGURA 40 - PASSAGENS DE NÍVEL COM A AVENIDA PREFEITO ERASTO GAERTNER E RUA NICARÁGUA

FONTE: INAV/GEOSISTEMAS SRL, 2009 IN GOOGLE EARTH FOR WINDOWS V.5.2 (2012)

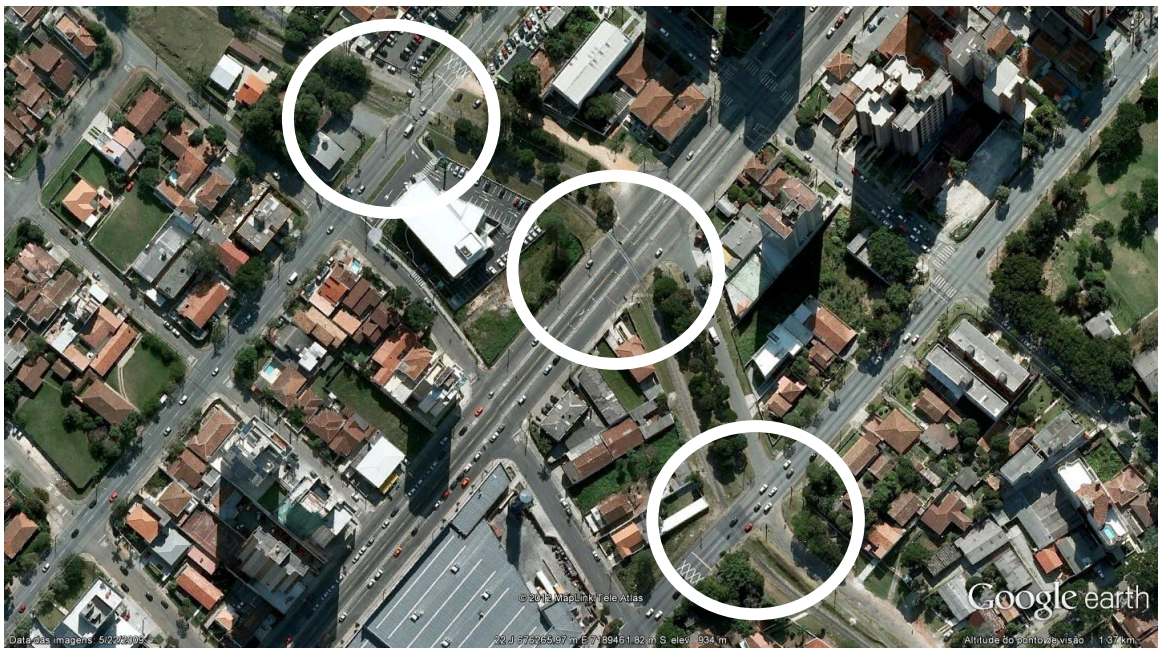


FIGURA 41 - PASSAGENS DE NÍVEL COM A RUA CANADÁ, AVENIDA PARANÁ E RUA JOVINO DO ROSÁRIO

FONTE: INAV/GEOSISTEMAS SRL, 2009 IN GOOGLE EARTH FOR WINDOWS V.5.2 (2012)

O zoneamento de uso do solo do município de Curitiba para a região da linha Curitiba – Rio Branco do Sul, segundo a Lei nº 9.800 de 2000, que dispõe sobre o Zoneamento, Uso e

Ocupação do Solo no Município de Curitiba e dá outras providências (PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA, 2000), compreende as seguintes zonas:

- Setor Especial (SE)
- Zona Residencial 1 (ZR-1)
- Zona Residencial 2 (ZR-2)
- Zona Residencial 3 (ZR-3)
- Zona Residencial 4 (ZR-4)

A figura 42 mostra o zoneamento da região do Ramal Rio Branco do Sul.

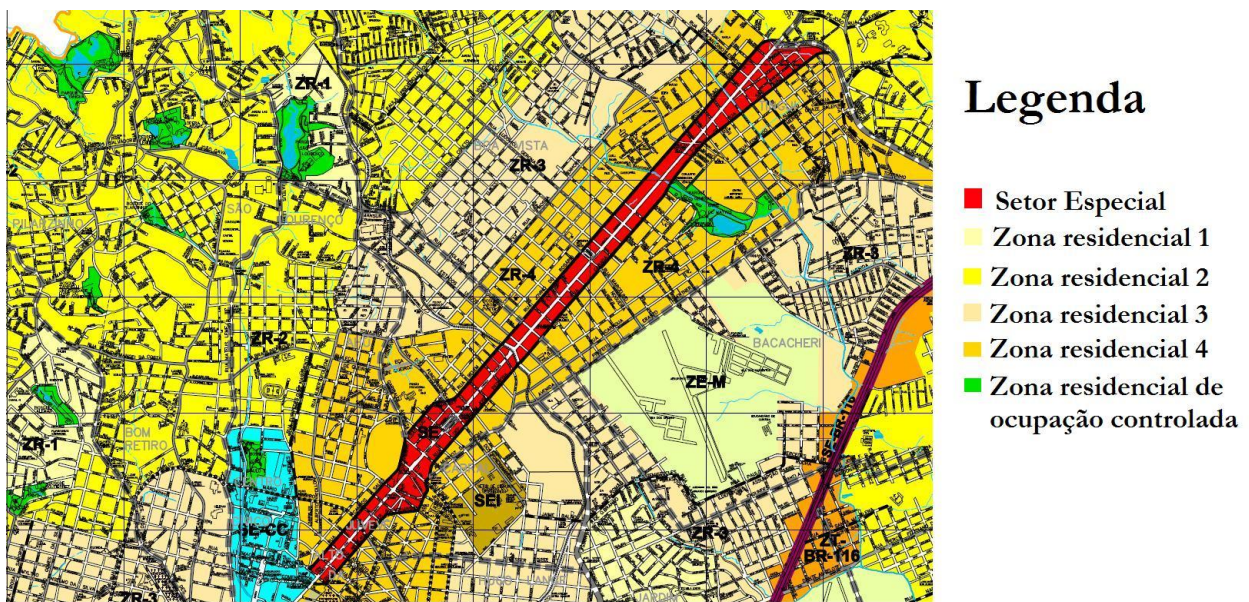


FIGURA 42 - ZONEAMENTO PARA A REGIÃO ANALISADA

FONTE: Prefeitura Municipal de Curitiba (2000)

O zoneamento é de extrema importância para o estudo, pois segundo a legislação municipal 10.625/02 cada zoneamento possui um nível máximo de pressão sonora permitido. A linha férrea no Ramal Rio Branco do Sul está inserida em zoneamentos que permitem diferentes níveis sonoros máximos em função do período do dia. Para o zoneamento da região em estudo, os níveis máximos permitidos estão descritos na Tabela 10.

TABELA 10 - NÍVEIS SONOROS PERMITIDOS NO RAMAL RIO BRANCO DO SUL

Pontos	Zoneamento	Período diurno	Período vespertino	Período noturno
3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 19	ZR-1, ZR-2 e ZR-3	55 dB(A)	50 dB(A)	45 dB(A)
1, 2, 14, 15, 16, 17 e 18	SE e ZR-4	65 dB(A)	60 dB(A)	55 dB(A)

5.2 EQUIPAMENTOS E METODOLOGIA DE MEDIÇÃO

Para as medições foram utilizados medidores de pressão sonora, calibrador acústico e software para transferência e análise dos dados, conforme figura 43. Os medidores de pressão sonora são divididos em duas classes, segundo norma internacional (IEC 61672-1, 2002):

- Classe 1: medidor de pressão sonora de precisão, projetado para uso de laboratório ou para uso em campo onde uma medição precisa é exigida;
- Classe 2: medidor de pressão sonora para uso geral, projetado para uso em campo e para gravar dados para análise no futuro.

Os equipamentos utilizados possuem certificado de calibração e são propriedade do Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico (LAAICA), da Universidade Federal do Paraná (UFPR).





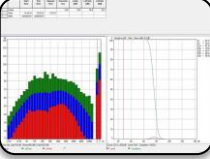

	1 medidor de pressão sonora tipo B&K 2238 - classe 1
	2 medidores de pressão sonora tipo B&K 2260 - classe 1
	1 medidor de pressão sonora tipo B&K 2250 - classe 1
	Protetor de vento utilizado nos medidores de pressão sonora
	Software B&K Noise Explorer 7815
	1 calibrador B&K 4231

FIGURA 43 - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA MEDIÇÃO DE RUÍDO E ANÁLISE.

Em cada ponto avaliado, para a descrição real do problema existente, as medições foram subdivididas em:

- Situação A – Medição da passagem do trem com acionamento da buzina – Antes da passagem de nível, o trem aciona a buzina 3 vezes;

- Situação B – Medições com a passagem do trem sem o acionamento da buzina – Após a passagem de nível, o trem não aciona mais a buzina;
- Situação C – Medições do ruído ambiente sem a passagem do trem (medição de 15 minutos – tempo de medição escolhido de forma a permitir a caracterização do ruído)

A figura 44 mostra a posição em que o conjunto de medições, acima descrito, foi realizado ao longo da via férrea.



FIGURA 44 - PONTOS DE MEDIÇÃO AO LONGO DA LINHA FÉRREA: A – PASSAGEM DO TREM COM ACIONAMENTO DA BUZINA; B – PASSAGEM DO TREM SEM ACIONAMENTO DA BUZINA; C – RUÍDO DO AMBIENTE SEM A PASSAGEM DO TREM.

FONTE: O autor (2012)

As medições dos níveis de pressão sonora seguiram as recomendações da norma brasileira NBR 10.151/2000, que são:

- As medições devem ser efetuadas em pontos afastados aproximadamente 1,2 m do piso e pelo menos 2 m do limite da propriedade e de quaisquer outras superfícies refletoras, como muros, paredes etc. Na impossibilidade de atender alguma destas recomendações, a descrição da situação medida foi anotada;
- Não devem ser efetuadas medições na existência de interferências advindas de fenômenos da natureza (por exemplo: trovões, chuvas, entre outros);
- O tempo de medição deve ser escolhido de forma a permitir a caracterização do ruído em questão;
- Deve-se prevenir o efeito de ventos sobre o microfone com o uso de protetor, conforme instruções do fabricante.

As figuras 45 e 46 demonstram como foram realizadas as medições dos níveis de pressão sonora ao longo da via férrea. A principal dificuldade encontrada durante a etapa de medições foi a determinação dos horários da passagem do trem nos locais em estudo.



FIGURA 45 - MEDIÇÕES DO RUÍDO FERROVIÁRIO

FONTE: O autor (2012)



FIGURA 46 - MEDIÇÕES DO RUÍDO FERROVIÁRIO

FONTE: O autor (2012)

A partir dos resultados obtidos das medições, foi realizada a comparação entre os resultados medidos com a legislação municipal 10.625/02. Como o tipo de carga transportada é diferente nos dois ramais estudados, também foi realizada uma comparação entre os níveis sonoros de ambos os ramais ferroviários.

Na etapa das medições podem transcorrer alguns erros, como por exemplo, efeitos do vento, presença de campos magnéticos, altas temperaturas, reflexões por superfícies muito próximas e erros do equipamento (HANSEN, 2005). Por isso, foram tomadas as devidas precauções para a minimização dos erros, como calibração dos equipamentos e medições sempre em locais e dias apropriados.

5.3 MAPEAMENTO ACÚSTICO

O uso de mapas de ruído, como apresentado no item 4.13 da revisão bibliográfica, tem grande utilidade para quantificação do problema, definir estratégias para o controle do poluente e avaliar a exposição da população ao ruído.

Nos mapas de ruído foram avaliadas as principais passagens de nível nos Ramais Rio Branco do Sul e Jardim Botânico. A grande quantidade de mapas de ruído realizados se dá ao fato da avaliação do ruído ferroviário na cidade de Curitiba ser um dos precursores na avaliação do ruído ferroviário no país. Os mapas de ruído permitem uma visualização global dos impactos

ambientais sonoros provocados pelo modal ferroviário. Cada local avaliado possui suas particularidades, sendo destacados:

- Presença de escolas próximas à linha férrea (Colégio Estadual Professora Maria Aguiar Teixeira, Creche Municipal Conjunto Iracema, Colégio Estadual Ângelo Gusso e Escola Municipal Coronel Durval Brito Silva);
- Presença de hospitais próximos à linha férrea (Hospital Cajuru e Hospital Marcelino Champagnat);
- Residências dentro da faixa de domínio da ferrovia, ou seja, distanciada a menos de 15 metros da linha férrea;
- Aumento da construção de prédios próximos à linha férrea (aumento do número de pessoas expostas ao ruído ferroviário);
- Passagens de nível muito próximas umas as outras (em alguns casos, menos de 100 metros), fazendo com que o acionamento nas passagens perdure continuamente.

Os mapeamentos acústicos foram realizados em função da experiência da equipe multidisciplinar do Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico (LAAICA) e através de estudos na literatura (LEE *et. al.*, 2008; PINTO & MARDONES, 2009; TSAI *et. al.*, 2009; GUEDES *et. al.*, 2011; KO *et. al.*, 2011; LAW *et. al.*, 2011; MEHRAVARAN *et. al.*, 2011; ZANNIN *et. al.*, 2011; WANG *et. al.*, 2011; FIEDLER *et. al.*, 2012; ZANNIN *et. al.*, 2012).

A elaboração dos mapas de ruído ferroviário foi realizada através da utilização do software SoundPLAN Versão 6, sendo as etapas adotadas demonstradas no diagrama de fluxo a seguir [Figura 47].

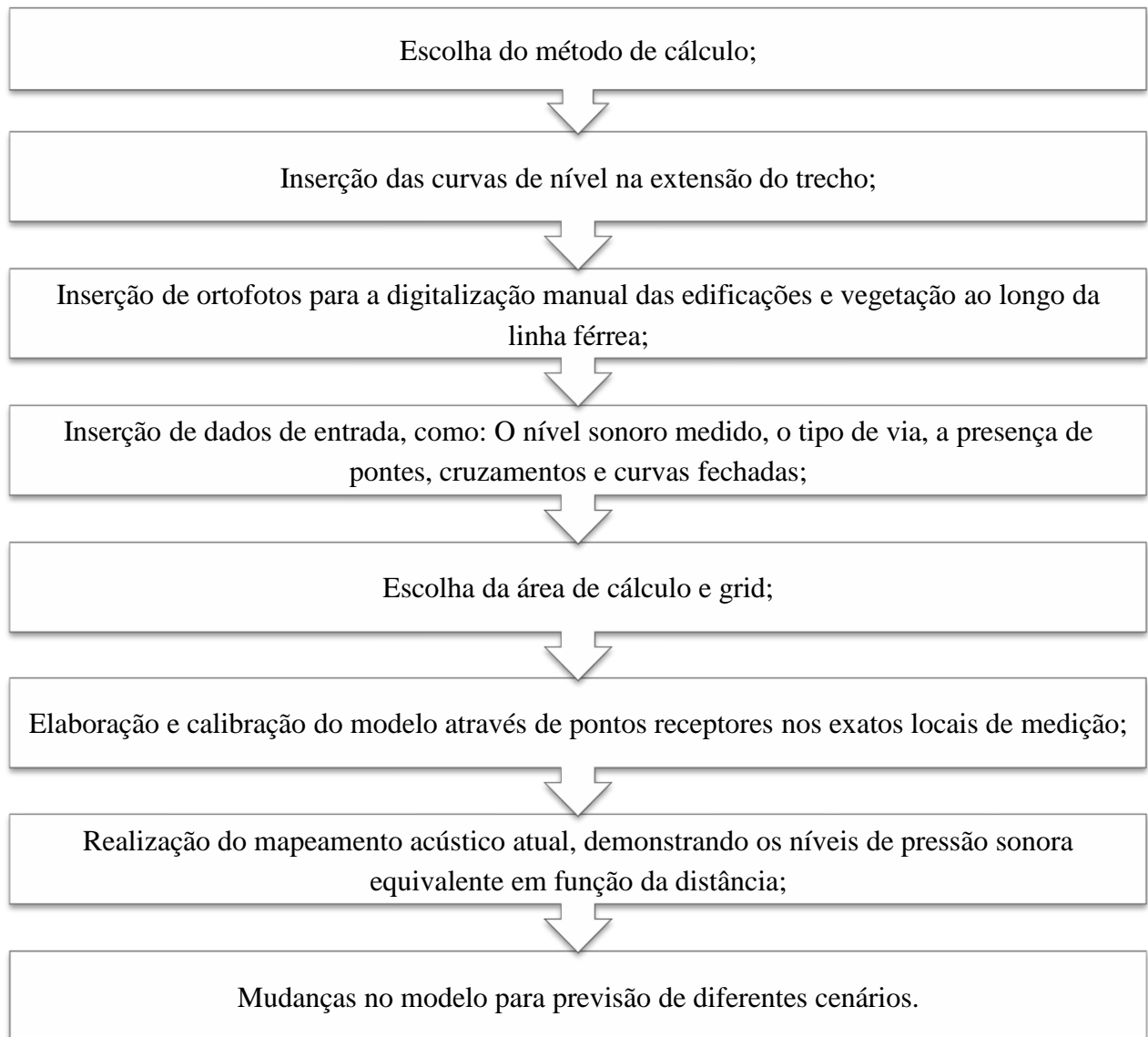


FIGURA 47 - ETAPAS PARA REALIZAÇÃO DOS MAPEAMENTOS DE RUÍDO FERROVIÁRIO.

O método de cálculo escolhido foi o método alemão Schall 03, pois é um método consolidado e um dos mais utilizados para previsão do ruído ferroviário (CÂMARA MUNICIPAL DE PALMELA, 2008; PARK *et. al.*, 2008; REITER & KOSTEK, 2008; SENATSVERWALTUNG FÜR GESUNDHEIT, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ, 2008; SZWARC *et. al.*, 2011; GAN *et. al.*, 2012). Além do ruído advindo somente da passagem do trem, também foram realizados mapeamentos acústicos no momento do acionamento da buzina do trem nas passagens de nível. Para esta fonte sonora foi utilizado o método de cálculo ISO 9613.

No modelo após a escolha do método do cálculo, são inseridas as curvas de nível ao longo do trecho. Para esta etapa foi utilizado os dados do IPPUC (Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba) obtidos através da base de dados denominada Curitiba Digital – Edição 2006/CD-ROM.

Em seguida são inseridas as ortofotocartas no software para digitalização das residências. O padrão adotado para altura das edificações no modelo computacional é demonstrado pela figura 48:

Residências	• 3 metros
Sobrados	• 6 metros
Prédios	• Pavimentos de 3 metros cada

FIGURA 48 - ALTURAS DAS EDIFICAÇÕES NO MAPEAMENTO ACÚSTICO

As figuras 49 e 50 apresentam a visualização das residências digitalizadas em duas e três dimensões respectivamente. A digitalização manual das residências é uma das etapas que mais consome tempo, sendo necessário um bom planejamento para realização deste importante item.

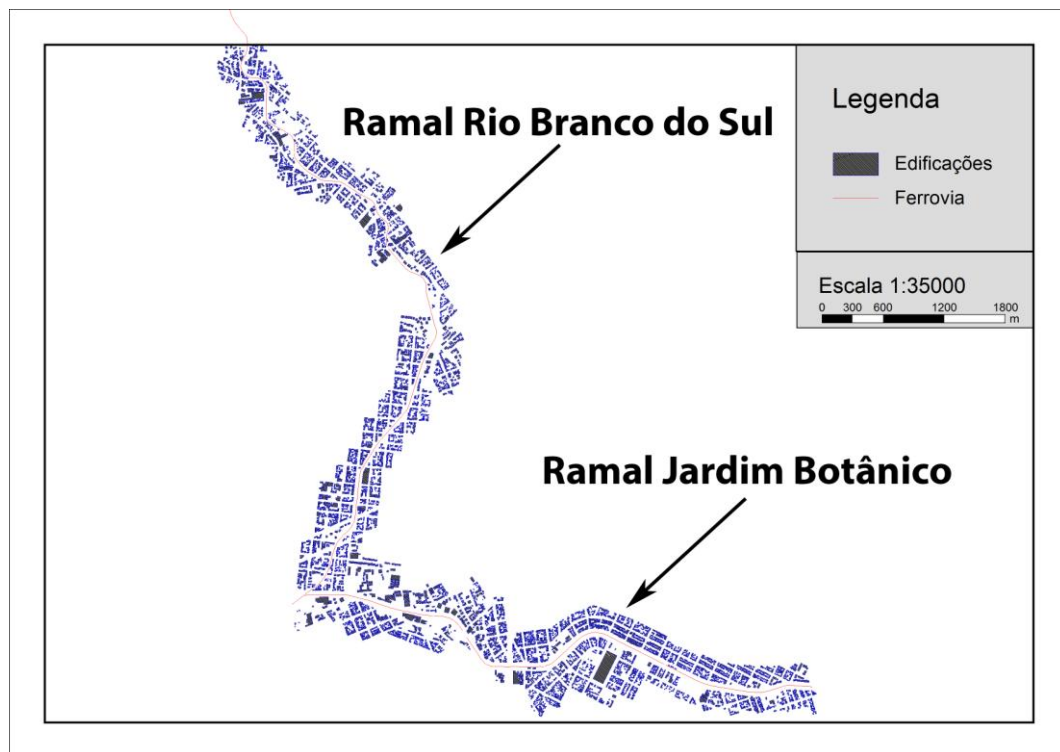


FIGURA 49 - VISUALIZAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES EM 2 DIMENSÕES.

FONTE: O autor (2012)

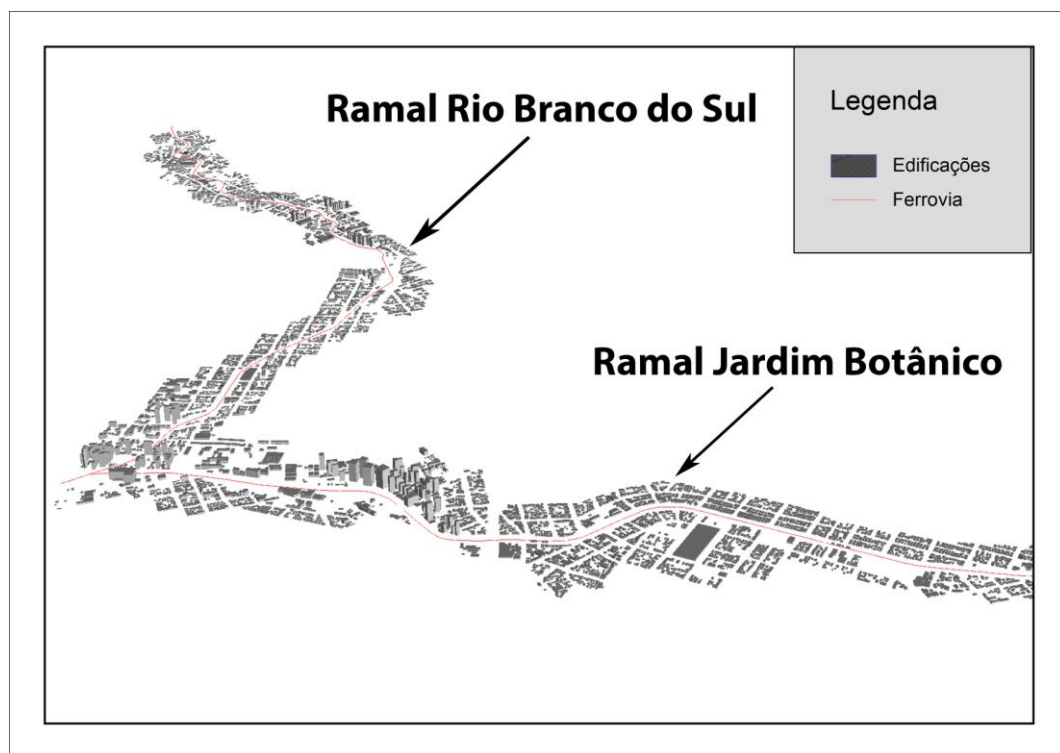


FIGURA 50 - VISUALIZAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES EM 3 DIMENSÕES.

FONTE: O autor (2012)

Após a digitalização das edificações deve ser inserida a fonte sonora em estudo, neste caso a ferrovia (o ruído rodoviário foi levado em conta apenas nas previsões das medidas de controle). Após os dados de entrada da ferrovia inseridos deve ser escolhida uma área de cálculo a qual se deseja fazer o mapeamento acústico. Os mapas de ruído foram avaliados distando em média 2 quadras ($\cong 200$ metros) paralelamente a via férrea, pois quanto mais afastado da via férrea, a predominância do ruído se dá por outras fontes sonoras, como carros, ônibus, caminhões, construções civis, entre outros.

Após a escolha da área de cálculo, deve ser adotada uma malha de cálculo (número médio de pontos de cálculo) que traga o melhor custo benefício, sendo a altura da malha de cálculo de 4 metros, recomendação da *Environmental Noise Directive* (EU, 2002). Para um ambiente pouco urbanizado, uma malha de cálculo de 20 a 50 metros é suficiente para o mapeamento acústico. Já para uma região urbanizada esta malha pode variar de 5 até 15 metros (SoundPLAN, 2004; GUEDES *et. al.*, 2007; MURPHY & KING, 2010). A malha de pontos adotada nos mapeamentos do ruído ferroviário foi de 5x5 metros, para um melhor detalhamento dos níveis sonoros.

Para cada local de medição foi realizado um mapa acústico dos níveis de pressão sonora equivalente. Quando as passagens de nível forem muito próximas, um mapa de ruído poderá contemplar mais de uma passagem de nível.

Os níveis sonoros dos mapas acústicos são apresentados em uma tabela de cores, podendo-se observar as áreas mais impactadas [Figura 51 e 52].

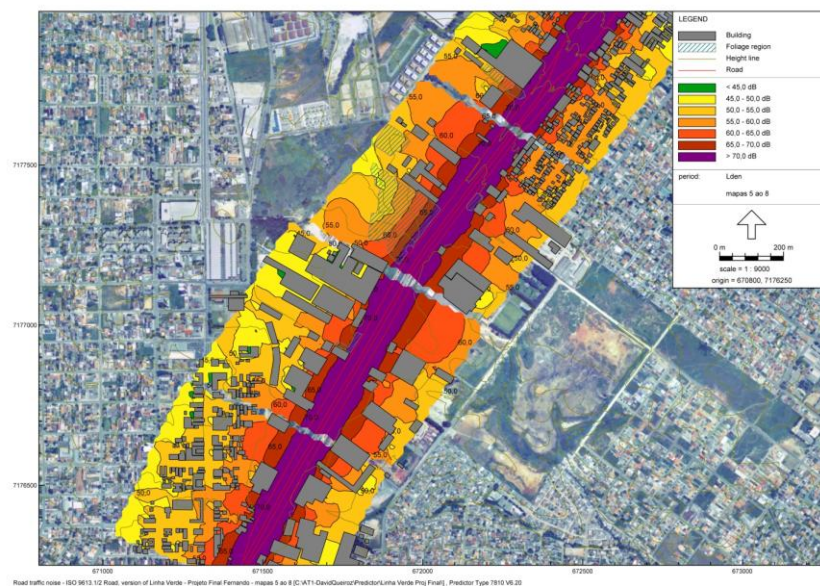


FIGURA 51 - MAPEAMENTO ACÚSTICO REALIZADO PELO SOFTWARE PREDICTOR
 FONTE: Bunn (2010)

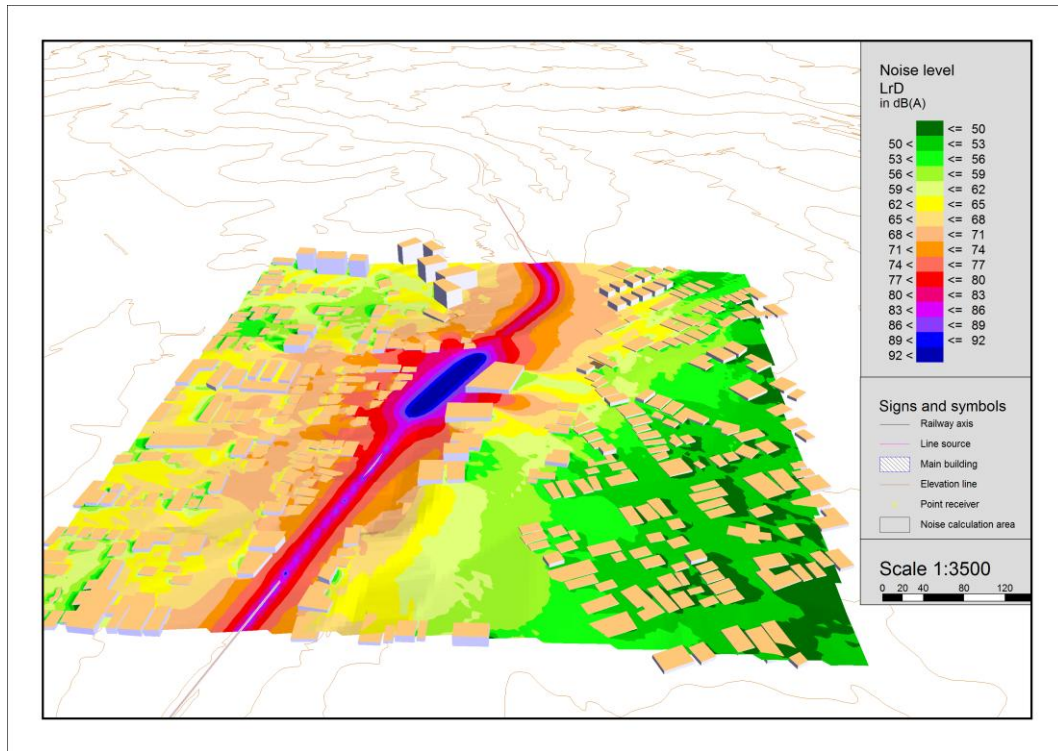


FIGURA 52 - MAPEAMENTO ACÚSTICO EM 3D REALIZADO PELO SOFTWARE SOUNDPLAN.
FONTE: O autor (2012)

Também foram apresentados mapas para os locais sensíveis, como escolas e hospitais, demonstrando os níveis sonoros que chegam às fachadas destes locais [Figura 53].

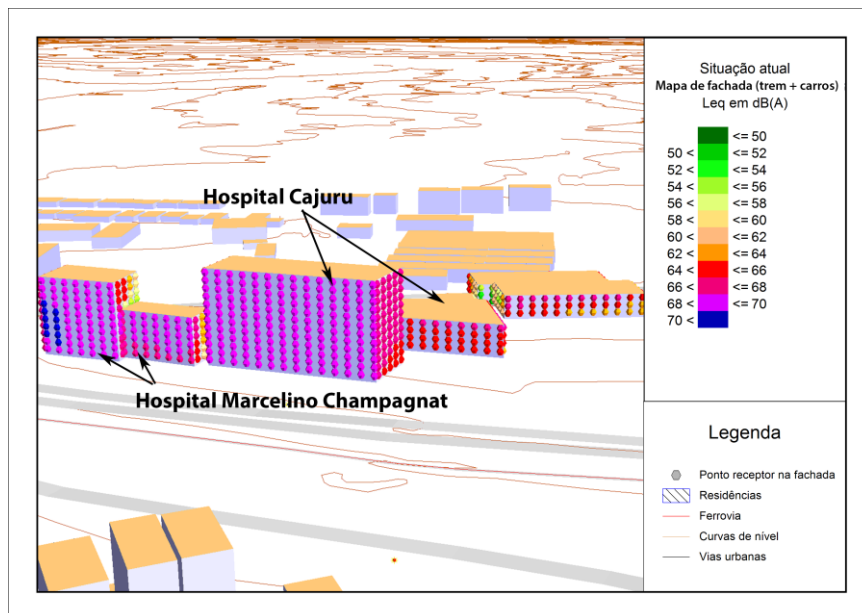


FIGURA 53 - MAPAS DE RUÍDO COM PONTOS RECEPTORES EM TODA A FACHADA
FONTE: O autor (2012)

Para o mapeamento acústico nas fachadas, o software SoundPLAN oferece algumas opções de gerenciamento na apresentação dos pontos receptores, sendo elas:

- Um ponto receptor no meio da fachada;
- Dois pontos receptores na fachada;
- Vários pontos receptores com um distanciamento pré-determinado.

A opção de um mapa com vários pontos receptores foi escolhida, pois se apresenta como a opção mais adequada para a análise do mapeamento de fachada. O distanciamento adotado dos receptores foi de 5x5 metros.

A calibração do modelo é realizada através da inserção de um ponto receptor no local onde foi realizada cada medição sonora. A calibração depende além dos dados de entrada (medições sonoras do trem e da buzina, tipo de via e distância percorrida), da exata localização e altura das edificações, para que efeitos de reflexão, refração e absorção sejam reproduzidos em conformidade com a realidade. Para verificar se o modelo encontra-se calibrado, utilizará como referência as recomendações do *European Commission Working Group – Assessment of Exposure to Noise* (WG-AEN), para o qual, a incerteza esperada é de $\pm 4,6$ dB(A) quando os valores medidos e simulados são comparados (LICITRA & MEMOLI, 2008). A experiência sugere que uma diferença entre o valor medido e o simulado pode chegar até $\pm 5,0$ dB(A) (MARSH, 1976 apud HANSEN, 2005)

Os erros na avaliação dos níveis sonoros podem ocorrer nas seguintes etapas: nos dados de topografia, nas localizações dos pontos receptores e no método de cálculo.

5.4 CENÁRIOS PREVISTOS

Através da simulação computacional também foram realizados mapeamentos acústicos para previsão de 3 diferentes situações de um mesmo trecho. Cada situação analisa diferentes parâmetros, sendo eles:

1. Exclusão da Buzina: comparação entre a situação atual e um cenário onde não seja utilizada a buzina como sinal de aviso;

2. Inserção de barreiras acústicas: comparação entre a situação atual e um cenário com barreiras acústicas paralelas a linha férrea;
3. Retirada do trem do trecho urbano: comparação entre a situação atual e caso entrasse em vigor o contorno ferroviário.

Como a avaliação do ruído ferroviário na cidade de Curitiba foi realizada em muitos pontos, para uma melhor análise, a avaliação dos cenários foi realizada para 2 locais de grande importância:

- Ponto 1 do Ramal Jardim Botânico – local onde estão inseridos dois grandes hospitais (Hospitais Cajuru e Marcelino Champagnat);
- Pontos 4 e 5 do Ramal Jardim Botânico – local onde está inserida uma grande instituição de ensino básico e fundamental (Colégio Estadual Professora Maria Aguiar Teixeira).

Além do ruído ferroviário, a região possui um grande fluxo de veículos leves (motos e carros) e pesados (ônibus e caminhões). Para o cálculo dos níveis sonoros advindos do tráfego rodoviário são necessários:

- Fluxo de veículos por hora nas ruas próximas ao local avaliado;
- Velocidade média na via urbana;
- Tipo de pavimento;
- Medições em todas as ruas da malha de cálculo para calibração do modelo.

Estes dados foram obtidos juntamente a dissertação de mestrado intitulada “Poluição sonora nos eixos estruturais de transporte da cidade de Curitiba”, realizada em paralelo, pelo aluno Paulo Eduardo Kirrian Fiedler do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA).

5.4.1 PREVISÃO 1 – NÃO ACIONAMENTO DA BUZINA NAS PASSAGENS DE NÍVEL

A primeira possível alternativa para diminuição dos níveis sonoros próximos à linha férrea é o não acionamento da buzina do trem, como sinal de alerta, nas passagens de nível. Para que não seja necessário o acionamento da buzina nas passagens de nível, existem 3 opções [Figura 54]:

- Construção de trincheiras;
- Instalação de cancelas nas passagens de nível para interrupção da passagem dos automóveis nestes cruzamentos, como as existentes em diversos países europeus e nos Estados Unidos;
- Instalação de buzinas estacionárias nas passagens de nível ao invés da sinalização através da buzina do trem, para que a sinalização seja efetivamente realizada no cruzamento entre a via férrea e a via urbana. Esta medida também possibilita a emissão de níveis sonoros mais reduzidos pela buzina estacionária, diminuindo o incômodo causado à população pela buzina do trem.

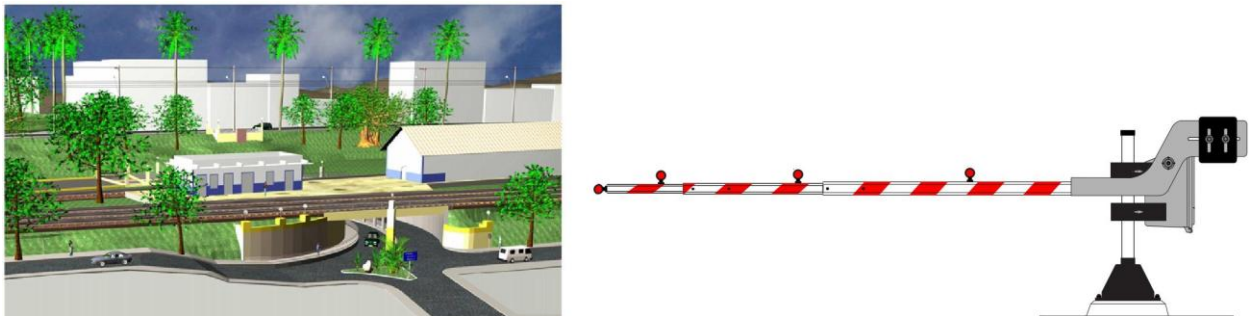


FIGURA 54 - POSSÍVEIS SOLUÇÕES PARA O NÃO ACIONAMENTO DA BUZINA DO TREM
 FONTE: Picanco (2007); Sinaf (2012)

Para este cenário foi realizado o mapeamento acústico da passagem do trem sem o acionamento da buzina e verificada a eficiência desta medida através de uma comparação entre o cenário atual (com o acionamento da buzina) e o cenário previsto (sem o acionamento da buzina). Para realização dos mapas de ruído na Previsão 1, a fonte que representa a buzina não foi inserida no modelo.

5.4.2 PREVISÃO 2 – INSERÇÃO DE BARREIRAS ACÚSTICAS

A segunda possível alternativa para diminuição dos níveis sonoros próximos à linha férrea é a inserção de barreiras acústicas. A eficiência desta medida varia em função da geometria (comprimento e altura), do material da barreira acústica construída e da distância entre a fonte e o receptor.

As barreiras acústicas podem ser inseridas através da inserção de valores pré-determinados para altura e comprimento da barreira. A barreira acústica utilizada no modelo é uma barreira refletiva, pois são as mais utilizadas, com altura de 5 metros. No modelo, as barreiras acústicas foram projetadas próximas à linha férrea (aproximadamente 5 metros do centro da via férrea), pois a proximidade entre a fonte e a barreira é de extrema importância.

Para este cenário foi realizado o mapeamento acústico com uma barreira acústica e verificada a eficiência desta medida através de uma comparação entre o cenário atual (sem a barreira acústica) e o cenário previsto (com a barreira acústica).

5.4.3 PREVISÃO 3 – RETIRADA DO TREM DO TRECHO URBANO

A terceira possível alternativa para diminuição dos níveis sonoros próximos à linha férrea é a retirada dos trilhos, do trecho urbano da cidade de Curitiba, através do contorno ferroviário. Caso este projeto entrasse em vigor, não haveria a passagem do trem na região e a fonte predominante na região seria advinda do tráfego de automóveis nas vias urbanas. Para isso foi necessária a contagem manual de veículos, estimativa da velocidade média e determinação do tipo de pavimento das vias urbanas da região. Estes dados foram obtidos juntamente a dissertação de mestrado intitulada “Poluição sonora nos eixos estruturais de transporte da cidade de Curitiba”, realizada em paralelo, pelo aluno Paulo Eduardo Kirrian Fiedler do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA).

A partir disto foram realizados os mapeamentos de ruído caso um contorno ferroviário entrasse em vigor. Para este cenário foi realizado o mapeamento acústico com a retirada do trem e verificada a eficiência desta medida através de uma comparação entre o cenário atual (com a presença do trem) e o cenário previsto (sem a presença do trem).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O trajeto do trem dentro da cidade de Curitiba obedece a um padrão que se repete a cada passagem de nível. Antes do cruzamento, entre as vias urbanas e a ferrovia, o trem buzina 3 vezes, percorrendo, em teoria, uma distância de 100 metros. Exatamente na passagem de nível e após a mesma ele não buzina mais. No estudo foram avaliadas 26 das 48 passagens de nível, sendo 7 delas no Ramal Jardim Botânico e 19 no Ramal Rio Branco do Sul. As medições foram realizadas em 3 diferentes situações, como previsto na metodologia: A) Passagem do trem com acionamento da buzina, B) Passagem do trem sem o acionamento da buzina, C) Circunvizinhanças da passagem de nível sem a presença do trem.

Para demonstração dos resultados obtidos são apresentadas as medições e mapeamentos de ruído ao longo dos Ramais Jardim Botânico e Rio Branco do Sul.

6.1 MEDIÇÕES DOS NÍVEIS SONOROS

6.1.1 RAMAL JARDIM BOTÂNICO

No Ramal Jardim Botânico foram realizadas medições dos níveis sonoros em 7 pontos. A Tabela 11 demonstra o resultado das medições dos níveis sonoros nestes locais para as 3 situações em estudo.

TABELA 11 - NÍVEIS SONOROS MEDIDOS AO LONGO E NO ENTORNO DA VIA FÉRREA – RAMAL JARDIM BOTÂNICO

Local de Medição ao longo da ferrovia	Situação de medição	Caracterização da medição	L_{min} dB(A)	L_{eq} dB(A)	L_{max} dB(A)
1	A	Passagem do trem com acionamento da buzina	79,2	105,9	109,2
	B	Passagem do trem sem o acionamento da buzina	69,6	73,2	77,3
	C	Ruído do ambiente sem a passagem do trem	57,3	69,9	89,7
2	A	Passagem do trem com acionamento da buzina	84,0	108,5	115,6
	B	Passagem do trem sem o acionamento da buzina	69,6	84,2	100,3
	C	Ruído do ambiente sem a passagem do trem	55,5	66,0	81,3
3	A	Passagem do trem com acionamento da buzina	84,0	108,5	115,6
	B	Passagem do trem sem o acionamento da buzina	84,8	94,8	100,4
	C	Ruído do ambiente sem a passagem do trem	54,3	71,5	87,8
4	A	Passagem do trem com acionamento da buzina	100,1	110,7	115,5
	B	Passagem do trem sem o acionamento da buzina	61,9	83,3	91,4
	C	Ruído do ambiente sem a passagem do trem	60,9	70,0	86,4
5	A	Passagem do trem com acionamento da buzina	90,1	108,3	121,4
	B	Passagem do trem sem o acionamento da buzina	62,4	79,8	91,0
	C	Ruído do ambiente sem a passagem do trem	48,3	59,9	76,2
6	A	Passagem do trem com acionamento da buzina	75,1	110,9	121,4
	B	Passagem do trem sem o acionamento da buzina	72,7	81,0	86,6
	C	Ruído do ambiente sem a passagem do trem	56,9	66,9	85,4
7	A	Passagem do trem com acionamento da buzina	70,4	108,3	113,3
	B	Passagem do trem sem o acionamento da buzina	67,8	78,7	97,2
	C	Ruído do ambiente sem a passagem do trem	57,0	67,3	86,5

A tabela 11 apresenta os níveis sonoros medidos em todos os pontos do Ramal Jardim Botânico, e desta tabela pode-se concluir que:

- Os níveis de pressão sonora equivalente durante a passagem do trem com o acionamento da buzina (situação A) variam de 105,9 dB(A) até 110,9 dB(A). Apesar

do curto espaço de tempo em que a buzina é utilizada, os níveis sonoros neste período são muito elevados;

- Os níveis de pressão sonora equivalente durante a passagem do trem sem o acionamento da buzina (situação B) variam de 73,2 dB(A) até 94,8 dB(A);
- O ruído do ambiente sem a passagem do trem (situação C) varia de 59,9 dB(A) até 71,5 dB(A).

As passagens de nível listadas na tabela 11, estão localizadas em zonas onde os níveis de pressão sonora equivalente (L_{eq}) não devem ultrapassar os valores de 65 dB(A) para o período diurno, 60 dB(A) para o período vespertino e 55 dB(A) para o período noturno. A figura 55 compara os valores medidos para as 3 situações em estudo com o limite máximo permitido no período diurno pela lei municipal 10.625/02.

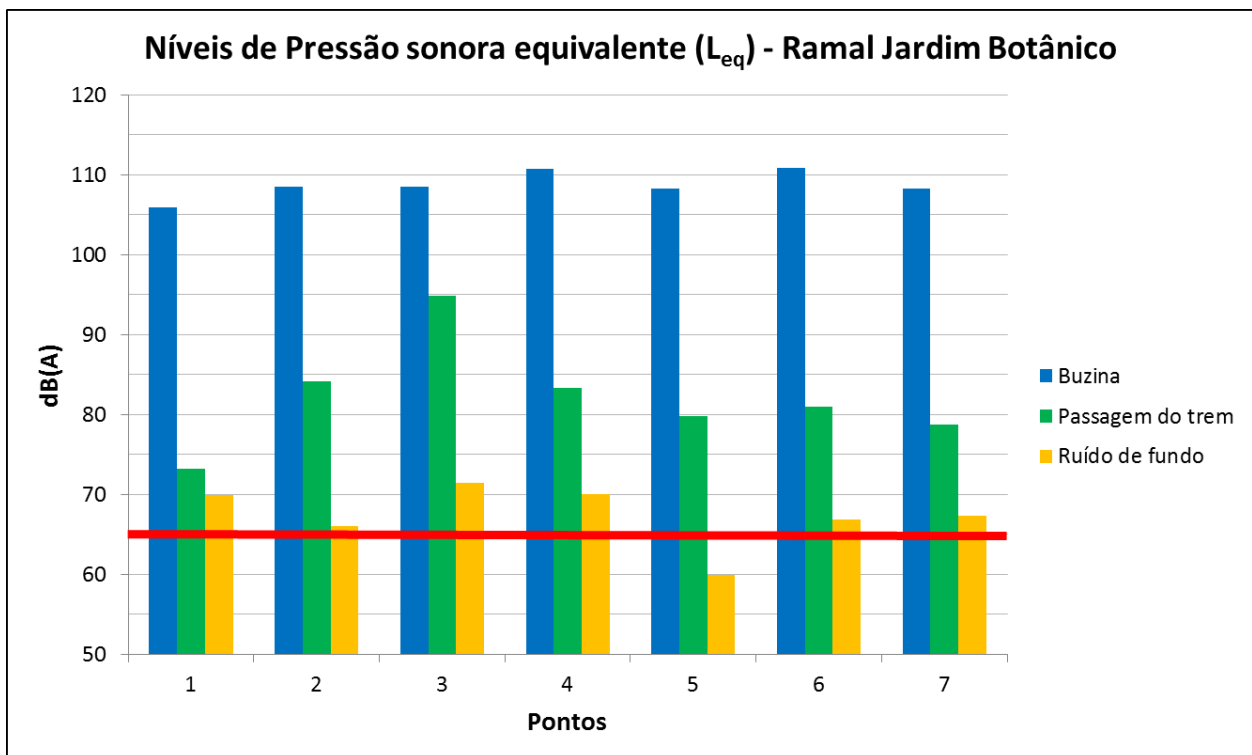


FIGURA 55 - NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE PARA AS 3 SITUAÇÕES EM ESTUDO EM COMPARAÇÃO COM A LEI MUNICIPAL 10.625/02 – RAMAL JARDIM BOTÂNICO.

A figura 55 demonstra que o ruído gerado pelo trem em todos os pontos, durante o acionamento da buzina e na passagem do trem sem o acionamento da buzina, ultrapassa os

limites estabelecidos pela legislação municipal no período diurno – 65 dB(A). No período, onde não ocorre a circulação do trem, as medições acústicas mostram que o ruído ambiente se encontra acima dos valores permitidos, exceto o ruído do ambiente no ponto 5. Isto se dá ao fato da presença de vias urbanas com elevado fluxo de veículos nas proximidades do Ramal Jardim Botânico (Avenida Affonso Camargo e Prefeito Maurício Fruet).

Os resultados obtidos da comparação dos níveis sonoros medidos com os valores permitidos pela legislação municipal para o período diurno são:

- No acionamento da buzina os níveis sonoros ficam 41 a 46 dB(A) acima dos valores permitidos;
- Na passagem do trem os níveis sonoros ficam 8 a 30 dB(A) acima do permitido;
- Quando não há a passagem do trem, os níveis sonoros ficaram próximos dos valores permitidos, estando 1 a 7 dB(A) acima dos 65 dB(A) permitidos para o período diurno.

Pelos resultados obtidos no Ramal Jardim Botânico nota-se que a circulação de trens em trechos urbanos causa elevados níveis sonoros. A fonte que causa maior incômodo é a buzina de sinalização que fica acoplada nas locomotivas. Para a circulação do trem nas passagens de nível, o maquinista aciona a buzina para sinalizar a chegada e passagem do trem. Com o grande aumento das construções próximas a linha férrea, observa-se que o número de pessoas incomodadas pelo ruído do trem na região do Jardim Botânico, Cristo Rei e Capão da Imbuia será cada vez maior [Figura 56].



FIGURA 56 - AUMENTO DE CONSTRUÇÕES PRÓXIMAS À LINHA FÉRREA DO RAMAL JARDIM BOTÂNICO.

6.1.2 RAMAL RIO BRANCO DO SUL

O Ramal Rio Branco do Sul possui grande interação com o meio urbano, sendo realizadas medições dos níveis sonoros em 19 pontos. A tabela 12 demonstra o resultado das medições dos níveis sonoros nestes locais para as 3 situações.

TABELA 12 - NÍVEIS SONOROS MEDIDOS AO LONGO E NO ENTORNO DA VIA FÉRREA – RAMAL RIO BRANCO DO SUL (CONTINUA)

Local de Medição ao longo da ferrovia	Situação de medição	Caracterização da medição	L_{min} dB(A)	L_{eq} dB(A)	L_{max} dB(A)
1	A	Passagem do trem com acionamento da buzina	73,0	115,7	122,5
	B	Passagem do trem sem o acionamento da buzina	64,8	76,9	86,9
	C	Ruído do ambiente sem a passagem do trem	60,8	68,5	82,1
2	A	Passagem do trem com acionamento da buzina	87,1	95,3	97,7
	B	Passagem do trem sem o acionamento da buzina	65,9	73,4	80,8
	C	Ruído do ambiente sem a passagem do trem	48,6	54,8	75,2
3	A	Passagem do trem com acionamento da buzina	87,3	111,1	118,9
	B	Passagem do trem sem o acionamento da buzina	69,2	78,2	86,9
	C	Ruído do ambiente sem a passagem do trem	48,5	59,1	73,8
4	A	Passagem do trem com acionamento da buzina	54,9	95,0	111,2
	B	Passagem do trem sem o acionamento da buzina	69,9	77,5	92,2
	C	Ruído do ambiente sem a passagem do trem	52,6	60,6	73,0
5	A	Passagem do trem com acionamento da buzina	67,2	105,9	112,6
	B	Passagem do trem sem o acionamento da buzina	64,9	82,3	93,4
	C	Ruído do ambiente sem a passagem do trem	51,4	62,7	86,4
6	A	Passagem do trem com acionamento da buzina	78,5	108,1	116,5
	B	Passagem do trem sem o acionamento da buzina	73,6	81,6	90,9
	C	Ruído do ambiente sem a passagem do trem	54,6	65,7	80,4
7	A	Passagem do trem com acionamento da buzina	61,1	100,0	109,9
	B	Passagem do trem sem o acionamento da buzina	71,6	80,8	87,0
	C	Ruído do ambiente sem a passagem do trem	56,4	70,5	83,2
8	A	Passagem do trem com acionamento da buzina	77,8	108,9	115,6
	B	Passagem do trem sem o acionamento da buzina	77,1	82,5	89,4
	C	Ruído do ambiente sem a passagem do trem	45,7	59,7	84,7
9	A	Passagem do trem com acionamento da buzina	86,2	108,9	115,1
	B	Passagem do trem sem o acionamento da buzina	66,5	84,3	90,9
	C	Ruído do ambiente sem a passagem do trem	50,3	57,9	73,0
10	A	Passagem do trem com acionamento da buzina	69,4	102,7	109,7
	B	Passagem do trem sem o acionamento da buzina	66,2	87,4	95,7
	C	Ruído do ambiente sem a passagem do trem	43,1	53,6	72,9
11	A	Passagem do trem com acionamento da buzina	74,5	109,8	115,6
	B	Passagem do trem sem o acionamento da buzina	60,0	80,0	93,4
	C	Ruído do ambiente sem a passagem do trem	46,5	59,4	78,6

TABELA 12 - NÍVEIS SONOROS MEDIDOS AO LONGO E NO ENTORNO DA VIA FÉRREA – RAMAL RIO BRANCO DO SUL (CONCLUSÃO)

Local de Medição ao longo da ferrovia	Situação de medição	Caracterização da medição	L_{min} dB(A)	L_{eq} dB(A)	L_{max} dB(A)
12	A	Passagem do trem com acionamento da buzina	71,3	101,0	108,3
	B	Passagem do trem sem o acionamento da buzina	49,9	79,9	91,4
	C	Ruído do ambiente sem a passagem do trem	41,9	53,9	75,7
13	A	Passagem do trem com acionamento da buzina	77,7	112,1	118,4
	B	Passagem do trem sem o acionamento da buzina	75,7	81,8	88,8
	C	Ruído do ambiente sem a passagem do trem	46,4	59,5	72,6
14	A	Passagem do trem com acionamento da buzina	73,7	107,5	116,4
	B	Passagem do trem sem o acionamento da buzina	76,4	83,6	90,6
	C	Ruído do ambiente sem a passagem do trem	48,3	63,0	79,1
15	A	Passagem do trem com acionamento da buzina	107,9	115,0	119,9
	B	Passagem do trem sem o acionamento da buzina	78,9	87,1	91,8
	C	Ruído do ambiente sem a passagem do trem	44,1	54,1	72,4
16	A	Passagem do trem com acionamento da buzina	72,0	107,6	116,6
	B	Passagem do trem sem o acionamento da buzina	75,9	82,8	87,6
	C	Ruído do ambiente sem a passagem do trem	49,7	60,9	80,5
17	A	Passagem do trem com acionamento da buzina	78,4	110,3	121,0
	B	Passagem do trem sem o acionamento da buzina	69,5	79,8	90,0
	C	Ruído do ambiente sem a passagem do trem	50,0	60,5	79,6
18	A	Passagem do trem com acionamento da buzina	71,4	109,7	118,2
	B	Passagem do trem sem o acionamento da buzina	72,0	79,7	84,0
	C	Ruído do ambiente sem a passagem do trem	47,3	55,8	72,0
19	A	Passagem do trem com acionamento da buzina	72,8	110,1	120,9
	B	Passagem do trem sem o acionamento da buzina	66,4	78,8	86,1
	C	Ruído do ambiente sem a passagem do trem	50,8	66,0	81,6

A tabela 12 apresenta os níveis sonoros medidos no Ramal Rio Branco do Sul, e desta tabela pode-se concluir que:

- Os níveis de pressão sonora equivalente durante a passagem do trem com o acionamento da buzina (situação A) variam de 95,0 dB(A) até 115,7 dB(A). Apesar do curto espaço de tempo em que a buzina é utilizada, os níveis sonoros neste período são muito elevados;

- Os níveis de pressão sonora equivalente durante a passagem do trem sem o acionamento da buzina (situação B) variam de 73,4 dB(A) até 87,4 dB(A);
- O ruído do ambiente sem a passagem do trem (situação C) varia de 53,6 dB(A) até 70,5 dB(A).

A região do Ramal Rio Branco do Sul corta zoneamentos que permitem diferentes níveis de pressão sonora. As passagens de nível 1, 2, 14, 15, 16, 17 e 18 estão localizadas em zonas onde os níveis de pressão sonora equivalente (L_{eq}) não devem ultrapassar os valores de 65 dB(A) para o período diurno, 60 dB(A) para o período vespertino e 55 dB(A) para o período noturno.

As passagens de nível 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 19 estão localizadas em zonas onde os níveis de pressão sonora equivalente (L_{eq}) não devem ultrapassar os valores de 55 dB(A) para o período diurno, 50 dB(A) para o período vespertino e 45 dB(A) para o período noturno.

A figura 57 compara os valores medidos para as 3 situações em estudo com o limite máximo permitido no período diurno pela lei municipal 10.625/02.

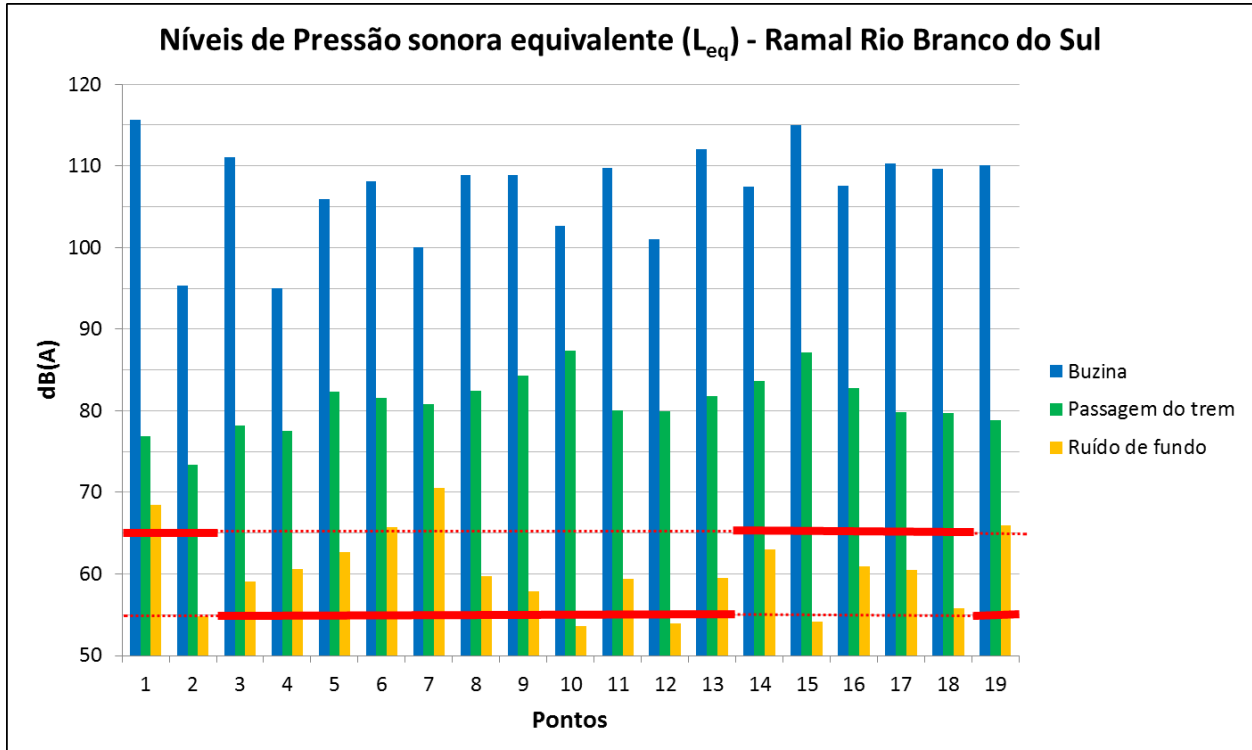


FIGURA 57 - NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE PARA AS 3 SITUAÇÕES EM ESTUDO EM COMPARAÇÃO COM A LEI MUNICIPAL 10.625/02 – RAMAL RIO BRANCO DO SUL.

A figura 57 demonstra que o ruído gerado pelo trem em todos os pontos, durante o acionamento da buzina e na passagem do trem sem o acionamento da buzina, ultrapassa os limites estabelecidos pela legislação municipal no período diurno. No período, onde não ocorre a circulação do trem, as medições acústicas mostram que o ruído ambiente se encontra acima dos valores permitidos, exceto o ruído do ambiente no ponto 2, 10, 12, 14, 15, 16, 17 e 18.

Os resultados obtidos da comparação dos níveis sonoros medidos com os valores permitidos pela legislação municipal para o período diurno são:

- No acionamento da buzina os níveis sonoros ficam 30 a 60 dB(A) acima dos valores permitidos;
- Na passagem do trem os níveis sonoros ficam 8 a 32 dB(A) acima do permitido;
- Quando não há a passagem do trem, os níveis sonoros ficaram próximos dos valores permitidos, alcançando até 16 dB(A) acima do valor permitido para o período diurno.

Pelos resultados obtidos no Ramal Rio Branco do Sul nota-se que a circulação de trens em trechos urbanos causa elevados níveis sonoros. A fonte que causa maior incômodo é a buzina de sinalização que fica acoplada nas locomotivas.

A região do Ramal Rio Branco do Sul é predominantemente residencial e grandes construções imobiliárias vem sendo construídas. Como o Ramal Rio Branco do Sul possui muitas passagens de nível no perímetro urbano da cidade (mais de 30), a utilização da buzina do trem causa grande incômodo à população. Isto se dá ao fato dos elevados níveis sonoros provocados pela mesma.

6.1.3 ESPECTRO DE FREQUÊNCIA

Apresentados os níveis de pressão sonora equivalente medidos (itens 6.1.1 e 6.1.2) são apresentados os espectros de frequência para cada uma das etapas de medição. São apresentados os espectros de frequência dos pontos 08 e 09 do Ramal Rio Branco do Sul, a título de ilustração.

A figura 58 apresenta o espectro de frequência durante o acionamento da buzina do trem.

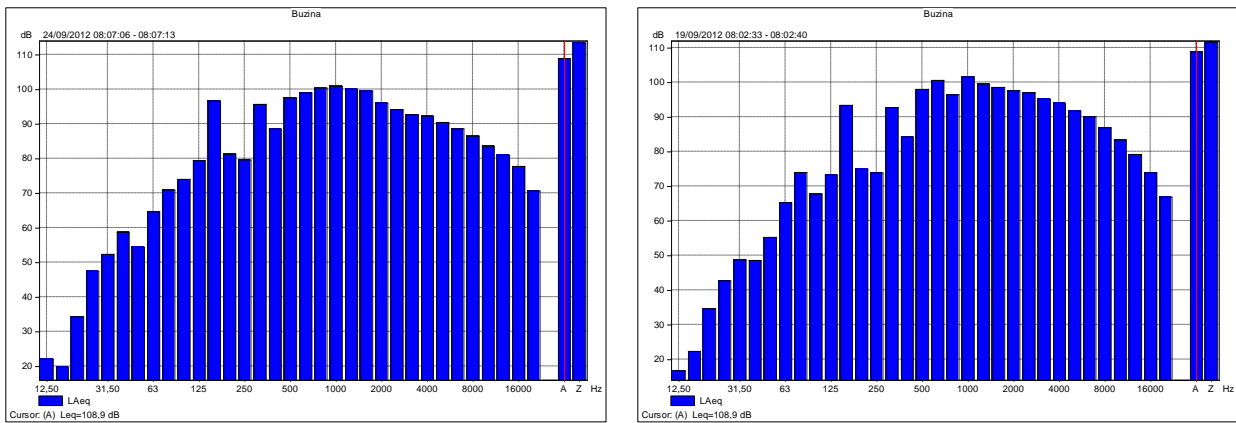


FIGURA 58 - ESPECTRO DE FREQUÊNCIA DURANTE O ACIONAMENTO DA BUZINA DO TREM

A figura 58 mostra que os níveis sonoros mais elevados encontram-se nas frequências entre 500 Hz a 4000 Hz, sendo que os níveis sonoros nesta faixa ultrapassam 90 dB(A).

Para considerar o evento da passagem do trem, a figura 59 apresenta o espectro de frequência durante esta etapa de medição.

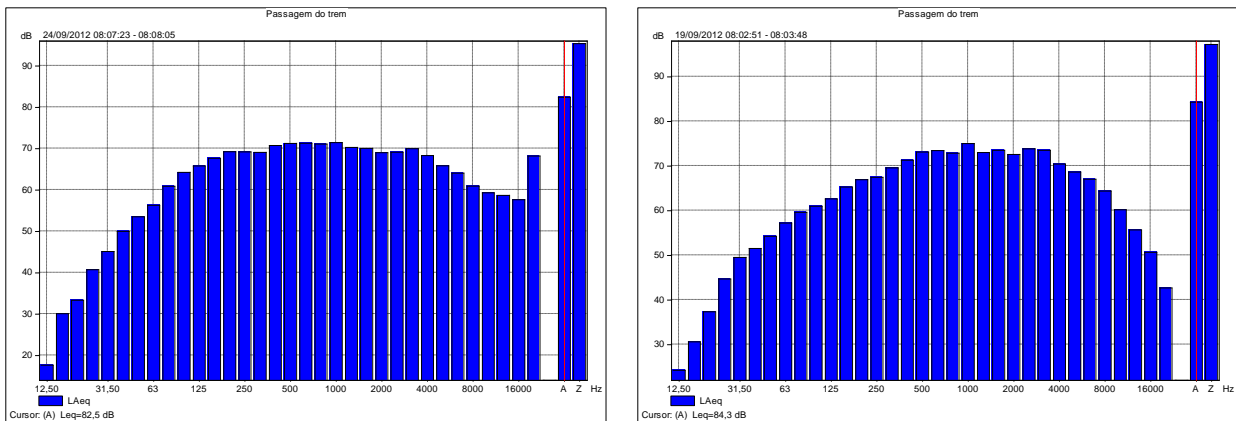


FIGURA 59 - ESPECTRO DE FREQUÊNCIA DURANTE A PASSAGEM DO TREM

A figura 59 mostra que os níveis sonoros mais elevados encontram-se nas frequências entre 250 Hz a 4000 Hz, sendo que os níveis sonoros nesta faixa se aproximam de 70 dB(A).

Após a realização das medições do acionamento da buzina e da passagem do trem, a figura 60 apresenta a medição do espectro de frequência sem a passagem do trem, onde o ruído é advindo apenas do fluxo de veículos dos automóveis nas vias urbanas.

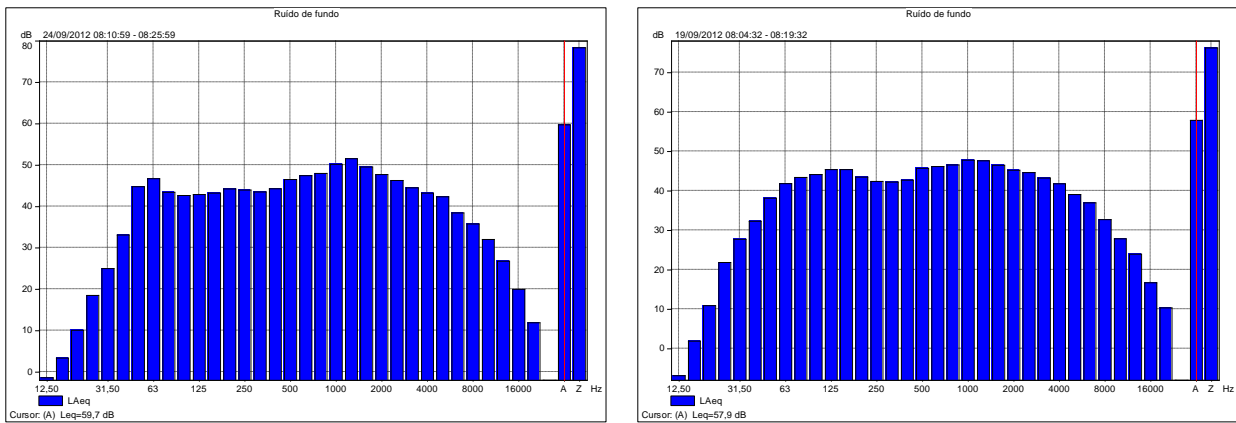


FIGURA 60 - ESPECTRO DE FREQUÊNCIA DO RUÍDO DE FUNDO (SEM A PASSAGEM DO TREM)

A figura 60 mostra que os níveis sonoros mais elevados encontram-se nas frequências entre 50 Hz a 4000 Hz, sendo que os níveis sonoros nesta faixa ficam entre 40 e 50 dB(A).

6.1.4 COMPARAÇÃO ENTRE OS RAMAIS JARDIM BOTÂNICO E RIO BRANCO DO SUL

Os Ramais Jardim Botânico e Rio Branco do Sul transportam diferentes tipos de cargas, porém os ramais possuem muitas semelhanças, como a conexão no perímetro central da cidade e a circulação em trechos densamente urbanizados – podendo ocasionar acidentes, incômodo devido à poluição sonora, poluição do ar e congestionamentos nos cruzamentos entre a via férrea e as vias urbanas.

Semelhanças a parte, foi realizada uma breve comparação entre os 2 principais ramais ferroviários da cidade de Curitiba, além de uma análise dos níveis sonoros provocados pelos trens em cada ramal [Tabela 13].

TABELA 13 - COMPARAÇÃO ENTRE OS RAMAIS JARDIM BOTÂNICO E RIO BRANCO DO SUL

	Ramal Jardim Botânico - RJB	Ramal Rio Branco do Sul - RRBS
Extensão (no perímetro urbano de Curitiba)	$\cong 6$ km	$\cong 11$ km
Tipo de carga	Farelo de soja, soja, açúcar, adubo.	Cimento, clínquer, calcário e adubo.
Pontos avaliados	7 pontos	21 pontos
Valor permitido pela legislação municipal 10.625/02 no período diurno	65 dB(A) – todos os pontos	65 dB(A) – pontos 01,02, 14, 15,16, 17 e 18 55 dB(A) – pontos 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13 e 19
L_{eq} – Situação A	105,9 dB(A) até 110,9 dB(A)	95,0 dB(A) até 115,7 dB(A)
L_{eq} – Situação B	73,2 dB(A) até 94,8 dB(A);	73,4 dB(A) até 87,4 dB(A).
L_{eq} – Situação C	59,9 dB(A) até 71,5 dB(A).	53,6 dB(A) até 70,5 dB(A).
L_{eq} acima do permitido no local de medição Situação A	Todos	Todos
L_{eq} acima do permitido no local de medição Situação B	Todos	Todos
L_{eq} acima do permitido no local de medição Situação C	Apenas o Ponto 05 está em conformidade com a legislação	Os Pontos 02, 10, 12, 14, 15, 16, 17 e 18 estão em conformidade com a legislação

Segundo a tabela 13, nota-se as semelhanças e as diferenças entre o Ramal Jardim Botânico e o Ramal Rio Branco do Sul. Os níveis sonoros medidos, independente da situação, ficaram muito próximos em ambos os ramais. Os principais motivos desta semelhança dos níveis sonoros devem-se aos seguintes itens:

- As locomotivas, de ambos os ramais, são movidas a diesel;
- A velocidade das composições, no perímetro urbano, é de aproximadamente 20 km/h (velocidade máxima permitida em trechos urbanos da cidade de Curitiba);

- Os acionamentos da buzina dos trens iniciam-se a 100 metros da passagem de nível;
- As medições foram sempre realizadas com o mesmo critério (distância do medidor a via férrea, tempo de medição, utilização do protetor de vento, entre outros).

Em todos os pontos de ambos os ramais, na situação A (passagem do trem com o acionamento da buzina) e na situação B (passagem do trem sem o acionamento da buzina), os níveis sonoros estão em desconformidade com a legislação municipal 10.625/02. Nas medições do ruído ambiente, onde não há a passagem do trem, apenas um ponto encontra-se em conformidade no Ramal Jardim Botânico, enquanto no Ramal Rio Branco do Sul, 8 pontos estão em conformidade com a legislação municipal. Essa discrepância ocorre devido à existência de ruas paralelas (Avenida Affonso Camargo e Rua Prefeito Maurício Fruet), a via férrea do Ramal Jardim Botânico, com intenso fluxo de veículos [Figura 61].



FIGURA 61: PROXIMIDADE DA VIA FÉRREA COM A AVENIDA AFFONSO CAMARGO E AVENIDA PREFEITO MAURÍCIO FRUET.

FONTE: O autor (2012)

6.2 MAPEAMENTO ACÚSTICO

Com o intuito de observar não só através de medições pontuais o ruído gerado pelo tráfego ferroviário, foram calculados mapas de ruído com intuito de uma visualização global do

problema. Através da simulação computacional também foram realizados mapeamentos de ruído para previsão de 3 diferentes cenários, conforme o item 5.4.

6.2.1 RAMAL JARDIM BOTÂNICO

Seguindo a metodologia referente ao mapeamento acústico (item 5.3), foram realizados mapas para as 7 passagens de nível do Ramal Jardim Botânico. Após a inserção dos dados topográficos e dados de entrada no modelo, o modelo deve ser calibrado. Como referenciado anteriormente, para verificar se o modelo encontra-se calibrado, a diferença esperada quando os valores medidos e simulados são comparados não deve ser superior a $\pm 4,6$ dB(A) (Licitra & Memoli, 2008). A tabela 14 compara os valores medidos e simulados, demonstrando que o modelo encontra-se calibrado para este ramal.

TABELA 14 - COMPARAÇÃO ENTRE OS NÍVEIS SONOROS MEDIDOS E SIMULADOS DA SITUAÇÃO ATUAL (PASSAGEM DO TREM COM ACIONAMENTO DA BUZINA)

Local de Medição Ramal Jardim Botânico	Medição L_{eq} dB(A)	Simulação L_{eq} dB(A)	Diferença Medição x Simulação
1	105,9	104,7	1,2
2	108,5	110,2	-1,7
3	108,5	107,2	1,3
4	110,7	110,6	0,1
5	108,3	105,3	3,0
6	110,9	110,1	0,8
7	108,3	108,6	-0,3

As diferenças entre os pontos medidos e simulados, no Ramal Jardim Botânico, não passaram de ± 3 dB(A). Com os modelos calibrados, os mapeamentos de ruído podem agora ser calculados. Cada local de medição foi representado via mapeamento acústico para visualização global dos níveis de pressão sonora equivalente provocados pela ferrovia. Foram avaliadas 7 passagens de nível no Ramal Jardim Botânico, sendo algumas delas muito próximas umas as outras. Nestes casos o mapa de ruído contemplou mais de uma passagem de nível.

Ponto 01 – Ramal Jardim Botânico

O mapa do ponto 01 possui grande importância, pois o Hospital Cajuru e Hospital Marcelino Champagnat estão próximos desta passagem de nível. Uma avaliação mais detalhada dos níveis sonoros que chegam ao Hospital Cajuru e Marcelino Champagnat foi realizada no item 6.3. A figura 62 representa o mapeamento do ruído ferroviário no Ponto 01.

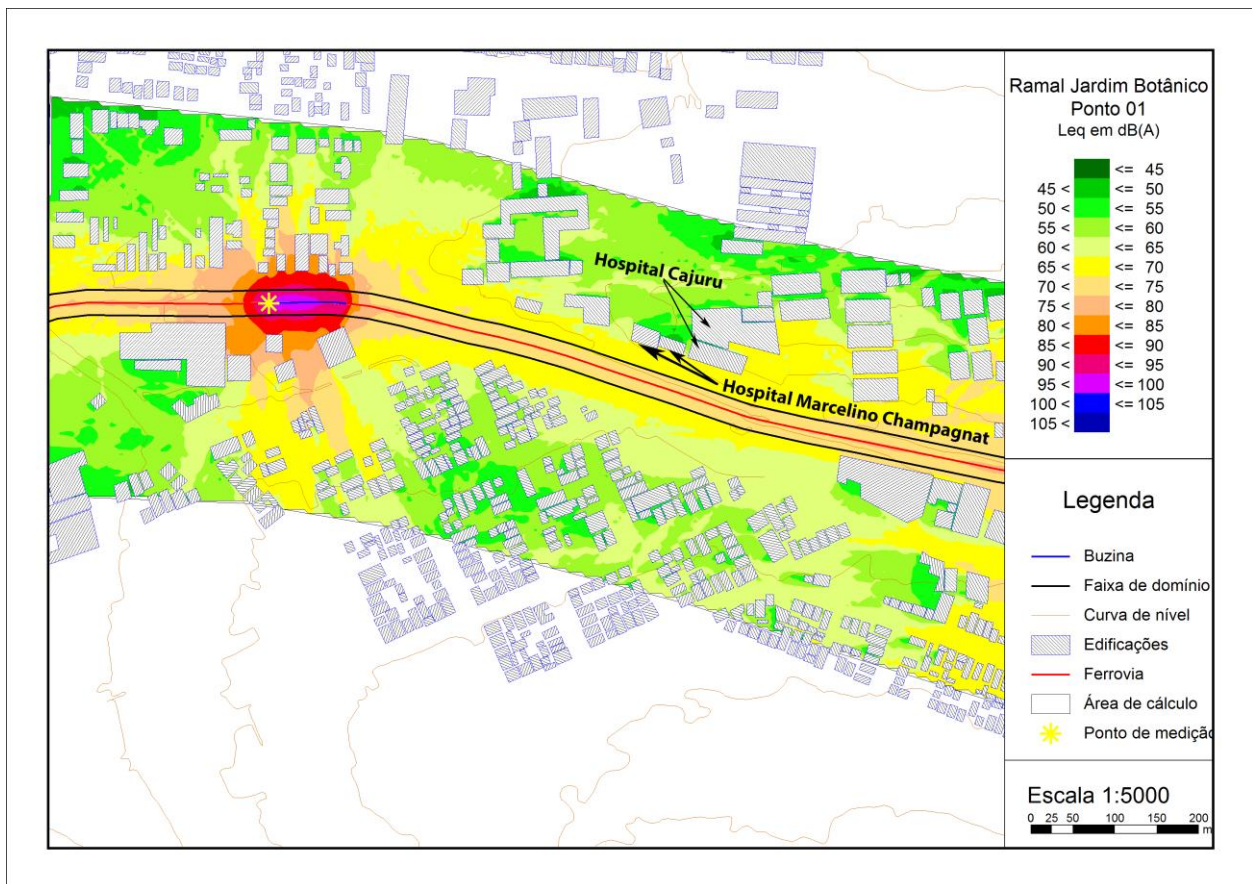


FIGURA 62 - MAPEAMENTO ACÚSTICO NO PONTO 01 - RAMAL JARDIM BOTÂNICO

Nos locais onde foram realizadas as medições, local onde o trem aciona a buzina como forma de sinalização, os níveis sonoros variam de 95 dB(A) até 105 dB(A). Nas casas mais próximas à passagem de nível os níveis sonoros imitados são de 80 dB(A) a 90 dB(A). A região afetada possui grandes edifícios, pois se encontra próxima à região central da cidade, causando o ruído ferroviário grande incômodo a população local.

Em locais mais afastados da passagem de nível, o nível sonoro gerado é advindo da passagem do trem, o qual os níveis sonoros imitados na fachada das primeiras residências variam de 65 dB(A) a 70 dB(A).

Pontos 02 e 03 – Ramal Jardim Botânico

As passagens de nível onde foram realizadas as medições dos Pontos 02 e 03 são muito próximas, sendo por este motivo, realizadas em apenas um mapa de ruído. A região é densamente urbanizada, com muitas residências e comércio nas proximidades da linha férrea. A figura 63 representa o mapeamento do ruído ferroviário nos Pontos 02 e 03.

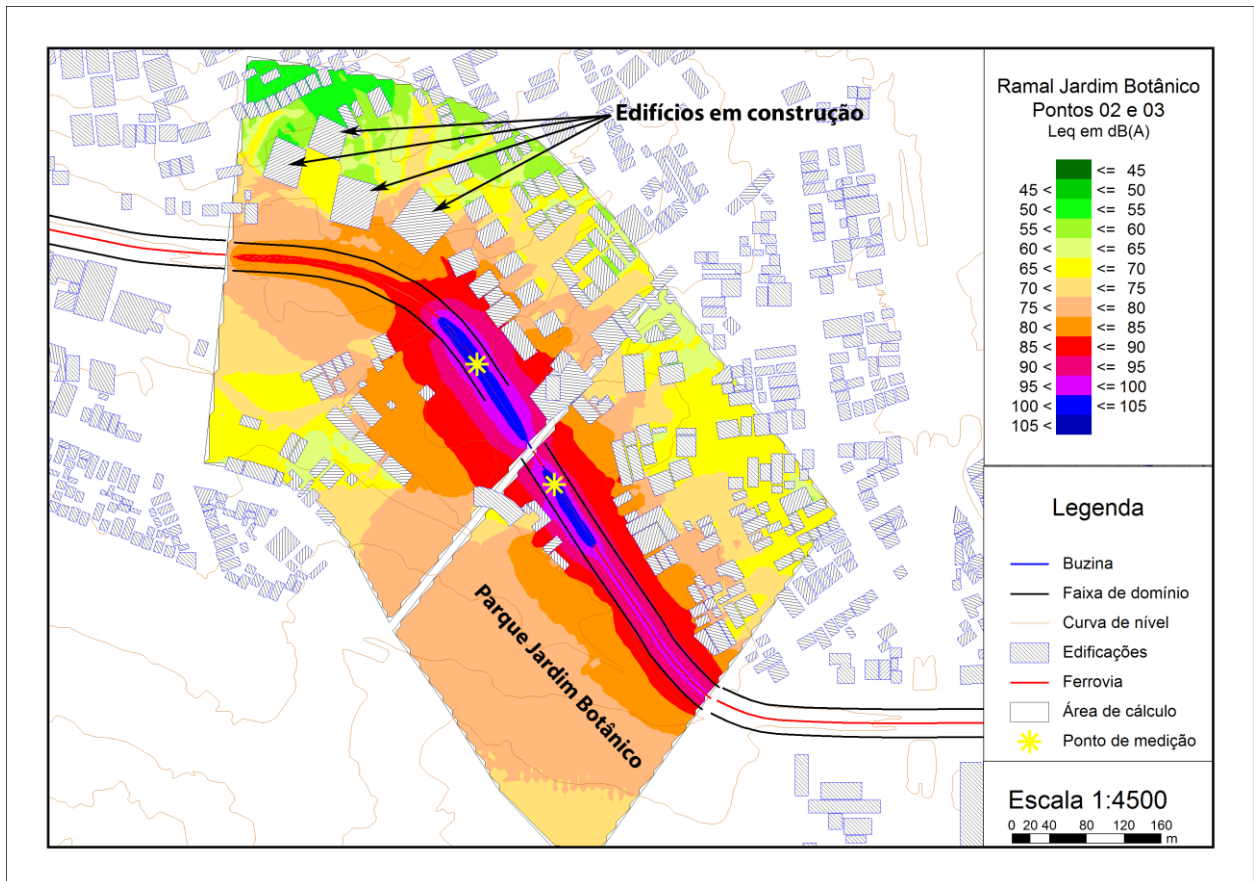


FIGURA 63 - MAPEAMENTO ACÚSTICO NOS PONTOS 02 E 03 - RAMAL JARDIM BOTÂNICO

Como as passagens de nível são muito próximas, a utilização da buzina como forma de sinalização é quase que incessante. Nos locais onde foram realizadas as medições os níveis sonoros variam de 100 dB(A) até 110 dB(A). Nas casas mais próximas a estas passagens de nível

os níveis sonoros imitados são de 85 dB(A) a 100 dB(A). A região afetada possui grandes edifícios em construção, como demonstrado na figura. Os níveis sonoros nas fachadas destes novos edifícios variam de 70 dB(A) a 85 dB(A). Em poucos anos, um grande número de pessoas migrarão para esta região e, como demonstrado no mapeamento, serão diretamente afetadas pelo ruído ferroviário.

Em locais mais afastados da passagem de nível, o nível sonoro gerado é advindo da passagem do trem, o qual os níveis sonoros imitados na fachada das primeiras residências variam de 75 dB(A) a 90 dB(A).

Ponto 04 – Ramal Jardim Botânico

O mapa do ponto 04 avalia o fim do parque Jardim Botânico, próximo ao viaduto da Linha Verde (antiga BR 116) com a Rua Afonso Camargo. A figura 64 representa o mapeamento do ruído ferroviário no Ponto 04.

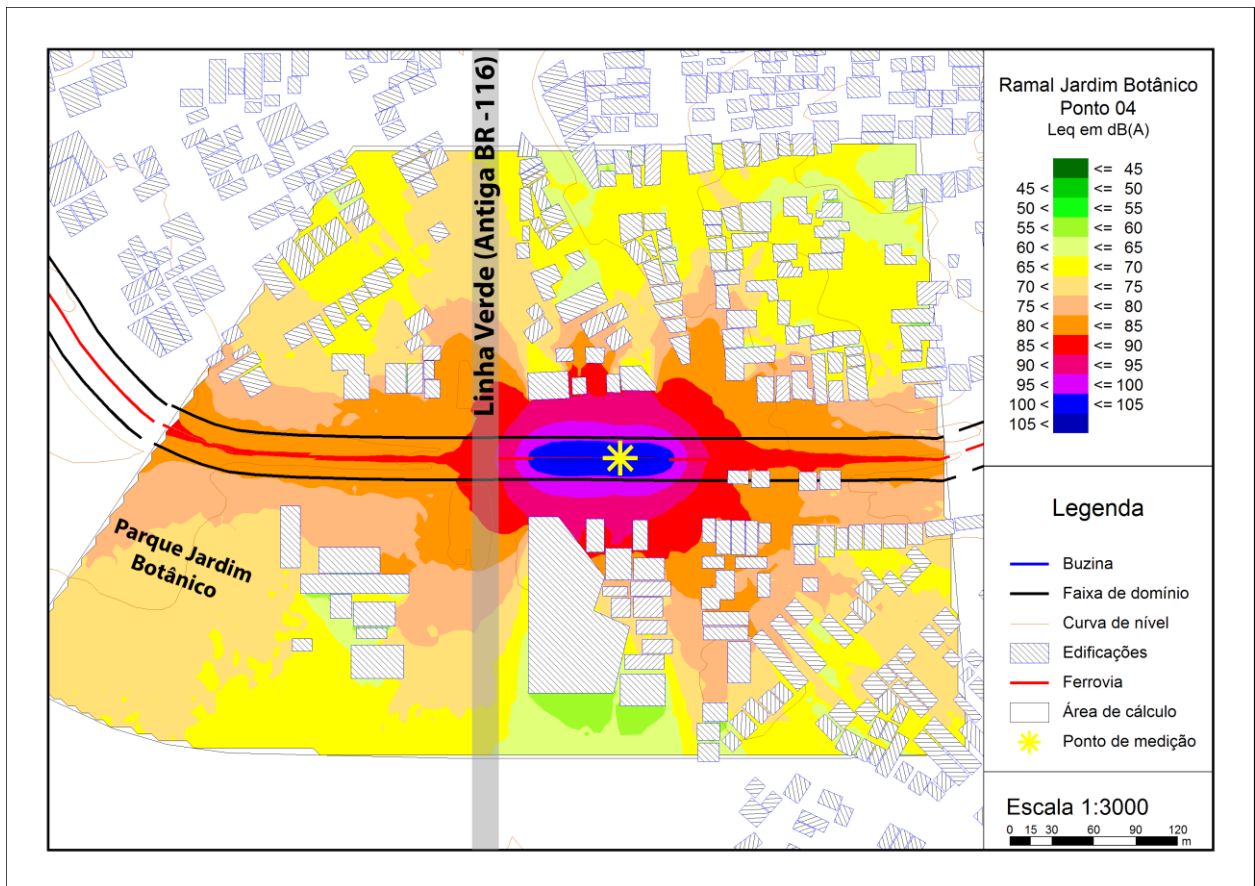


FIGURA 64 - MAPEAMENTO ACÚSTICO NO PONTO 04 - RAMAL JARDIM BOTÂNICO

Nos locais onde foram realizadas as medições, local onde o trem aciona a buzina como forma de sinalização, os níveis sonoros ultrapassam 105 dB(A). Nas casas mais próximas a esta passagem de nível os níveis sonoros imitados são de 90 dB(A) a 95 dB(A). A região afetada é predominantemente residencial, sendo que existem residências dentro da faixa de domínio, desobedecendo à lei federal nº 6766/79 (BRASIL, 1979) atualizada pela lei nº 10.932/04 (BRASIL, 2004). Nestes locais os níveis sonoros variam de 85 dB(A) a 90 dB(A).

Em locais mais afastados da passagem de nível, o nível sonoro gerado é advindo da passagem do trem, o qual os níveis sonoros imitados na fachada das primeiras residências variam de 75 dB(A) a 85 dB(A).

Ponto 05 – Ramal Jardim Botânico

O mapa do ponto 05 possui grande importância devido à presença do Colégio Estadual Professora Maria Aguiar Teixeira, no mapeamento acústico, além do Terminal de ônibus Capão

da Imbuia, com uma grande concentração de pessoas durante todo o dia. Uma avaliação mais detalhada do Colégio Estadual Professora Maria Aguiar Teixeira foi realizada no item 6.3. A figura 65 representa o mapeamento do ruído ferroviário no Ponto 05.

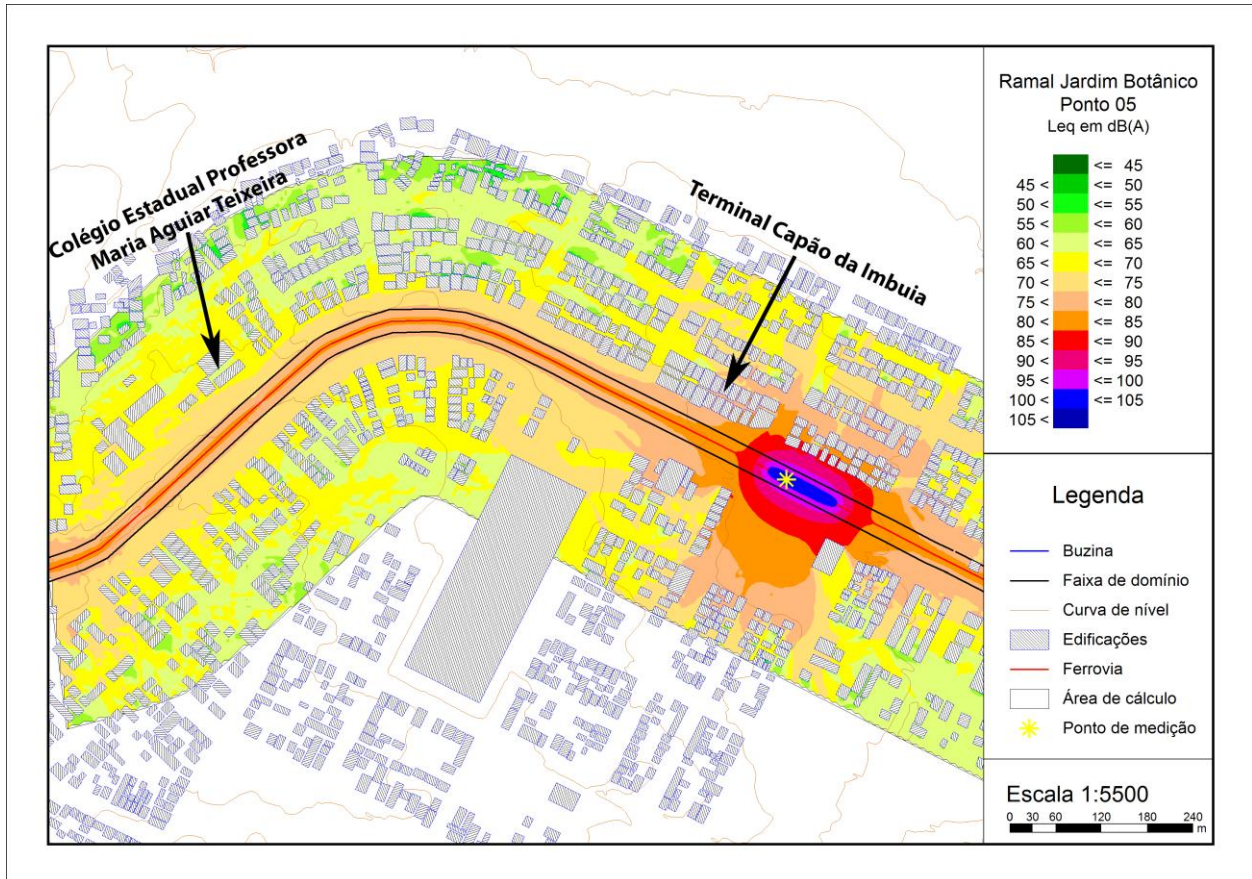


FIGURA 65 - MAPEAMENTO ACÚSTICO NO PONTO 05 - RAMAL JARDIM BOTÂNICO

Nos locais onde foram realizadas as medições, local onde o trem aciona a buzina como forma de sinalização, os níveis sonoros ultrapassam 100 dB(A). Nas casas mais próximas a esta passagem de nível os níveis sonoros imitados são de 85 dB(A) a 95 dB(A). A região afetada é predominantemente residencial, sendo que as residências são muito próximas à linha férrea (menos de 30 metros).

Em locais mais afastados da passagem de nível, o nível sonoro gerado é advindo da passagem do trem, o qual os níveis sonoros imitados na fachada das primeiras residências variam de 65 dB(A) a 75 dB(A).

Pontos 06 e 07 – Ramal Jardim Botânico

As passagens de nível onde foram realizadas as medições dos Pontos 06 e 07 são muito próximas, sendo por este motivo, realizadas em apenas um mapa de ruído. A região é densamente urbanizada, com muitas residências e comércio nas proximidades da linha férrea. A figura 66 representa o mapeamento do ruído ferroviário nos Pontos 06 e 07.

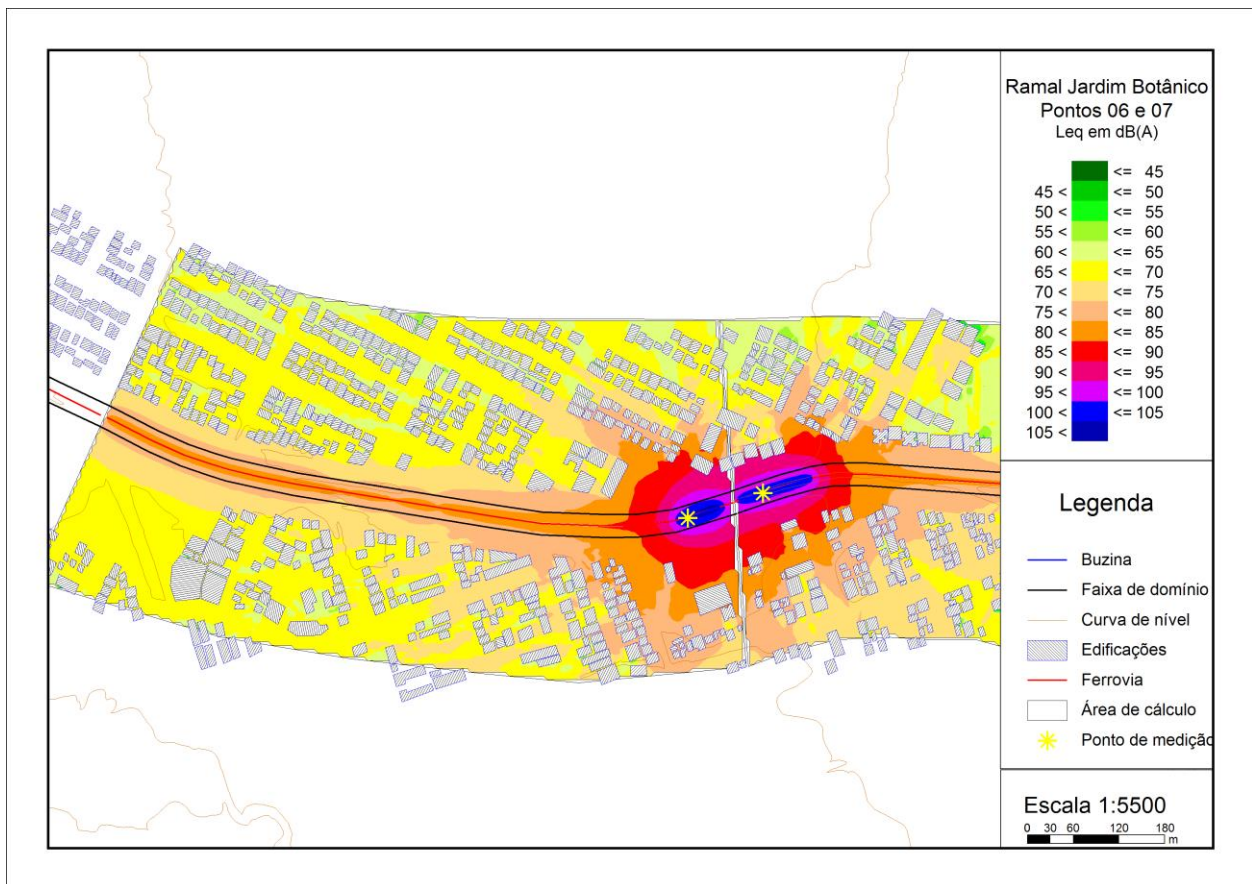


FIGURA 66 - MAPEAMENTO ACÚSTICO NOS PONTOS 06 E 07 - RAMAL JARDIM BOTÂNICO

Como as passagens de nível são muito próximas, a utilização da buzina como forma de sinalização é quase que incessante. Nos locais onde foram realizadas as medições os níveis sonoros ultrapassaram 105 dB(A). Nas casas mais próximas a estas passagens de nível os níveis sonoros imitados são de 85 dB(A) a 95 dB(A).

Em locais mais afastados da passagem de nível, o nível sonoro gerado é advindo da passagem do trem, o qual os níveis sonoros imitados na fachada das primeiras residências variam de 65 dB(A) a 75 dB(A).

Visualização global – Ramal Jardim Botânico

A passagem do trem e o acionamento da buzina são ações instantâneas, ou seja, só podem acontecer em uma passagem de nível de cada vez. Para uma visualização global e abrangente de todos os pontos em conjunto do Ramal Jardim Botânico, foi realizada a junção de todos os mapas em um mapa só, com intuito de uma visualização global dos níveis sonoros imitados pela composição ferroviária [Figura 67].

Nota-se que o acionamento da buzina, nas passagens de nível, causa elevados níveis sonoros, pois as cores azul escuro, azul claro e roxo claro (níveis sonoros acima de 95 dB(A)) predominam nestes locais.

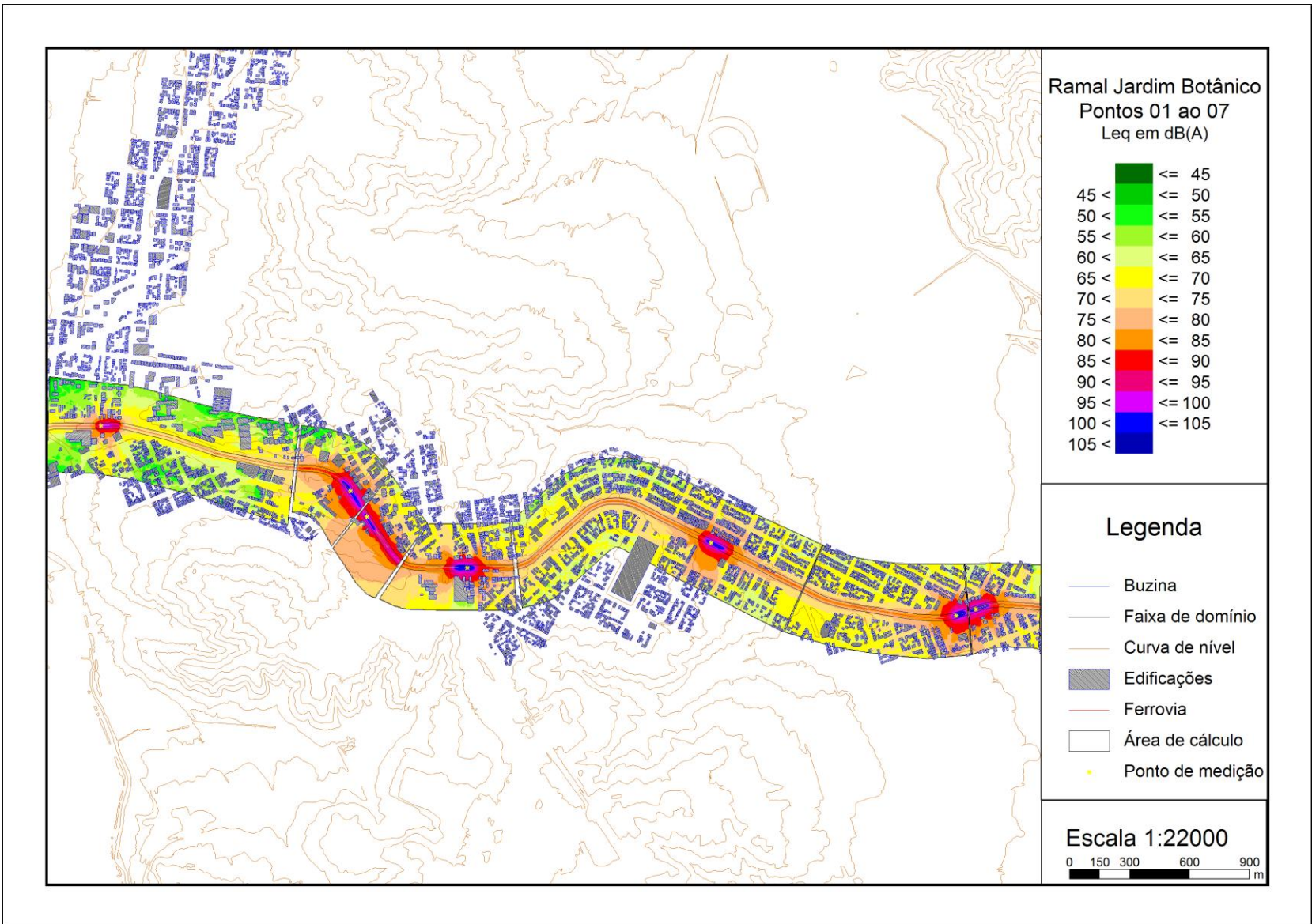


FIGURA 67 - MAPEAMENTO ACÚSTICO – TODOS OS PONTOS DO RAMAL JARDIM BOTÂNICO

A tabela 15, obtida da análise dos mapeamentos acústicos, também apresenta uma avaliação global dos níveis sonoros nos pontos avaliados no Ramal Jardim Botânico.

TABELA 15 - AVALIAÇÃO GLOBAL DOS NÍVEIS SONOROS NO RAMAL JARDIM BOTÂNICO

Ponto	L_{eq} no local de acionamento da buzina do trem	L_{eq} na fachada das casas mais próximas a passagem de nível	L_{eq} na fachada das casas mais afastadas da passagem de nível
01	95 dB(A) a 105 dB(A)	80 dB(A) a 90 dB(A)	65 dB(A) a 70 dB(A)
02 e 03	100 dB(A) a 110 dB(A)	85 dB(A) a 100 dB(A)	75 dB(A) a 90 dB(A)
04	ultrapassam 105 dB(A)	90 dB(A) a 95 dB(A)	75 dB(A) a 85 dB(A)
05	ultrapassam 100 dB(A)	85 dB(A) a 95 dB(A)	65 dB(A) a 75 dB(A)
06 e 07	ultrapassam 105 dB(A)	85 dB(A) a 95 dB(A).	65 dB(A) a 75 dB(A)

6.2.2 RAMAL RIO BRANCO DO SUL

Seguindo a metodologia referente ao mapeamento acústico (item 5.3), foram realizados mapas para as 19 passagens de nível do Ramal Rio Branco do Sul. Após a inserção dos dados topográficos e dados de entrada no modelo, o modelo deve ser calibrado. Como referenciado anteriormente, para verificar se o modelo encontra-se calibrado a diferença esperada quando os valores medidos e simulados são comparados não deve ser superior a $\pm 4,6$ dB(A) (Licitra & Memoli, 2008). A tabela 16 compara os valores medidos e simulados, demonstrando que o modelo encontra-se calibrado para este ramal.

TABELA 16 - COMPARAÇÃO ENTRE OS NÍVEIS SONOROS MEDIDOS E CALCULADOS

Local de Medição Ramal Rio Branco do Sul	Medição L_{eq} dB(A)	Simulação L_{eq} dB(A)	Diferença Medição x Simulação
1	115,7	115,7	0,0
2	95,3	95,2	0,1
3	111,1	109,6	1,5
4	95,0	94,7	0,3
5	105,9	104,5	1,4
6	108,9	108,7	0,2
7	100,0	101,8	-1,8
8	108,9	109,8	-0,9
9	108,9	110,8	-1,9
10	102,7	101,0	1,7
11	109,8	109,5	0,3
12	101,0	100,1	0,9
13	112,1	109,4	2,7
14	107,5	106,6	0,9
15	115,0	114,6	0,4
16	107,6	104,7	2,9
17	110,3	109,8	0,5
18	109,7	110,9	-1,2
19	110,1	111,9	-1,8

As diferenças entre os pontos medidos e simulados, no Ramal Rio Branco do Sul, ficaram abaixo de $\pm 2,9$ dB(A). Com os modelos calibrados, os mapeamentos de ruído podem agora ser calculados. Cada local de medição foi representado via mapeamento acústico para visualização global dos níveis de pressão sonora equivalente provocados pela ferrovia. Foram avaliadas 19 passagens de nível no Ramal Rio Branco do Sul, sendo algumas delas muito próximas umas as outras. Nestes casos o mapa de ruído contemplou mais de uma passagem de nível.

Pontos 01 e 02 – Ramal Rio Branco do Sul

As passagens de nível onde foram realizadas as medições dos Pontos 01 e 02 são muito próximas, sendo por este motivo, realizadas em apenas um mapa de ruído. A região avaliada está na região central da cidade e é densamente urbanizada, com muitas residências e comércio nas proximidades da linha férrea. A figura 68 representa o mapeamento do ruído ferroviário nos Pontos 01 e 02.

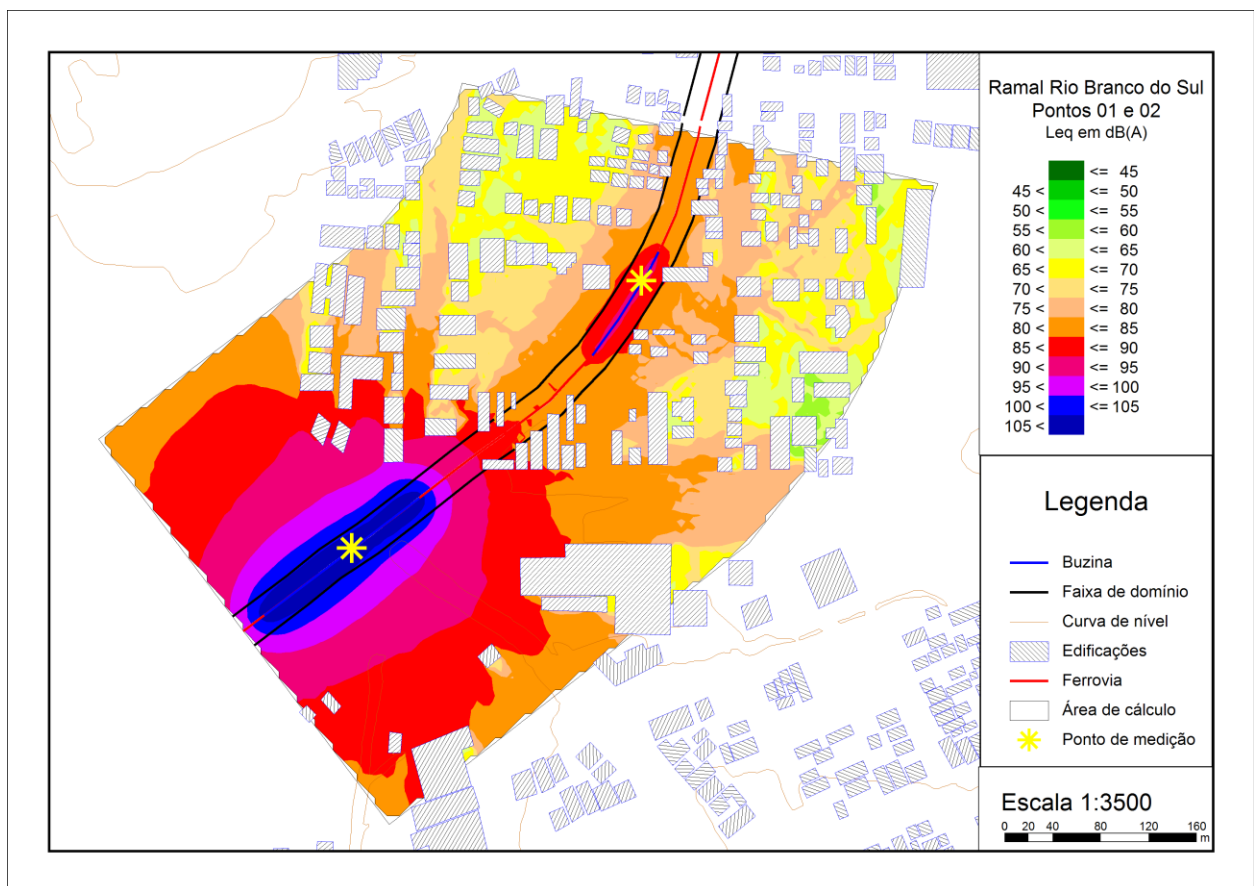


FIGURA 68 - MAPEAMENTO ACÚSTICO NOS PONTOS 01 E 02 - RAMAL RIO BRANCO DO SUL

Como as passagens de nível são muito próximas, a utilização da buzina como forma de sinalização é quase que incessante. Nos locais onde foram realizadas as medições os níveis sonoros variam de 100 dB(A) até 115 dB(A). No ponto 01, não existem muitas residências próximas, pois é o pátio de manobras. No ponto 02, os elevados níveis sonoros provocados pela buzina do trem e a proximidade das casas com a linha férrea são os principais fatores que trazem incômodo à população.

Nas casas mais próximas a estas passagens de nível os níveis sonoros imitados são de 80 dB(A) a 95 dB(A). Em locais mais afastados da passagem de nível, o nível sonoro gerado é advindo da passagem do trem, o qual os níveis sonoros imitados na fachada das primeiras residências variam de 75 dB(A) a 85 dB(A).

Pontos 03 e 04 – Ramal Rio Branco do Sul

As passagens de nível onde foram realizadas as medições dos Pontos 03 e 04 são muito próximas, sendo por este motivo, realizadas em apenas um mapa de ruído. A região avaliada está próxima à região central da cidade e é densamente urbanizada, com muitas residências e prédios elevados nas proximidades da linha férrea. A figura 69 representa o mapeamento do ruído ferroviário nos Pontos 03 e 04.

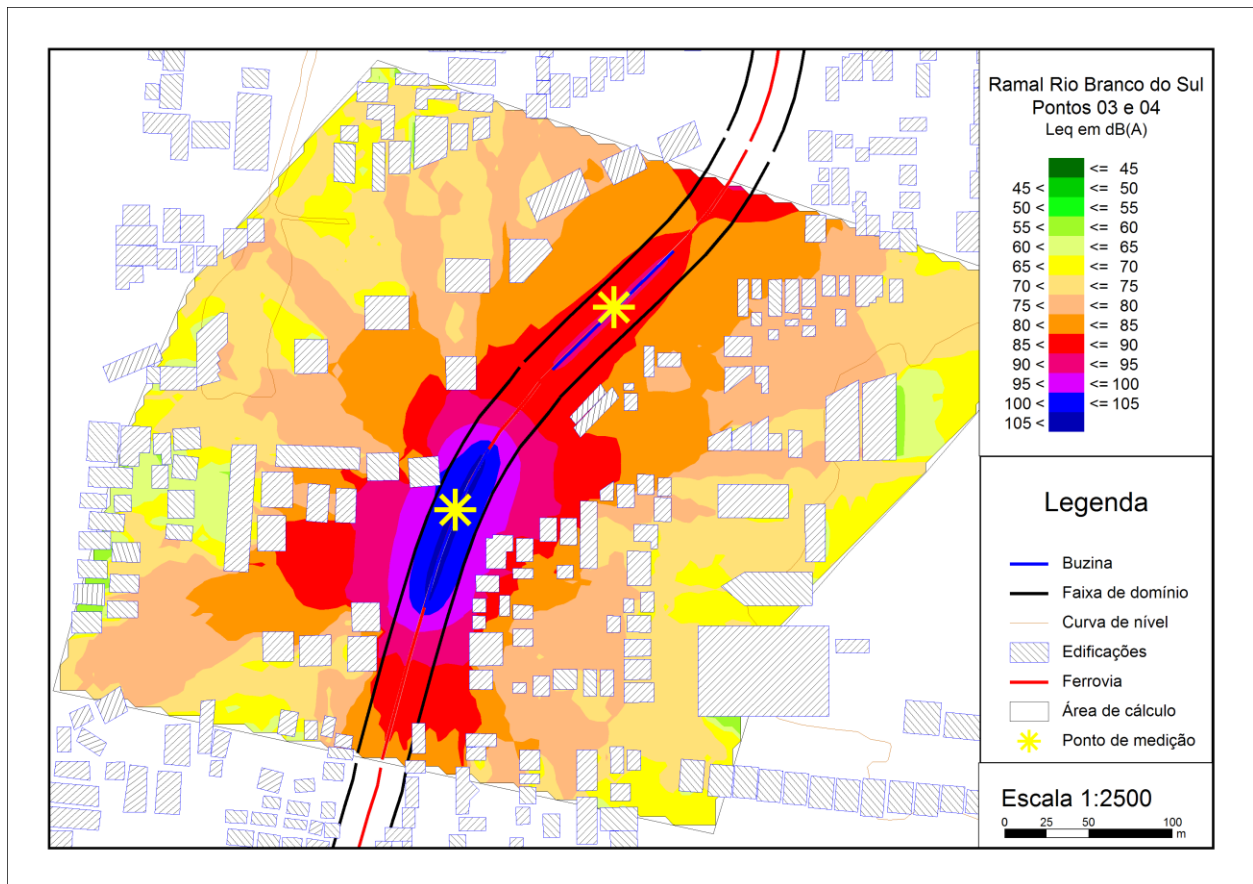


FIGURA 69 - MAPEAMENTO ACÚSTICO NOS PONTOS 03 E 04 - RAMAL RIO BRANCO DO SUL

Como as passagens de nível são muito próximas, a utilização da buzina como forma de sinalização é quase que incessante. Nos locais onde foram realizadas as medições os níveis sonoros variam de 100 dB(A) até 110 dB(A). Nas casas mais próximas a estas passagens de nível os níveis sonoros imitados são de 90 dB(A) a 100 dB(A). A região afetada é predominantemente residencial, sendo que as residências são muito próximas à linha férrea (menos de 30 metros).

Em locais mais afastados da passagem de nível, o nível sonoro gerado é advindo da passagem do trem, o qual os níveis sonoros imitados na fachada das primeiras residências variam de 70 dB(A) a 75 dB(A).

Pontos 05, 06 e 07 – Ramal Rio Branco do Sul

As passagens de nível onde foram realizadas as medições dos Pontos 05, 06 e 07 são muito próximas, sendo por este motivo, realizadas em apenas um mapa de ruído. A região é densamente urbanizada, com muitas residências e prédios elevados nas proximidades da linha férrea. A figura 70 representa o mapeamento do ruído ferroviário nos Pontos 05, 06 e 07.

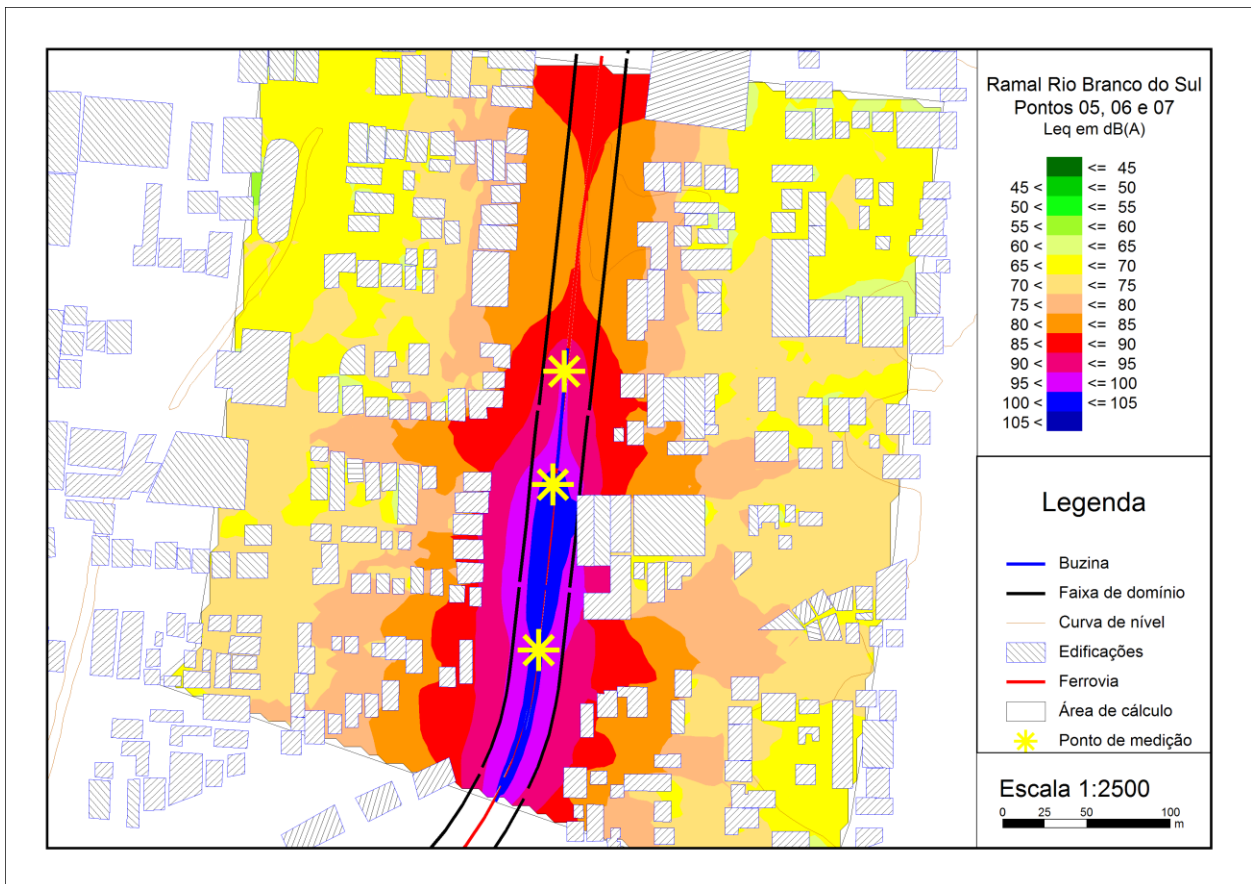


FIGURA 70 - MAPEAMENTO ACÚSTICO NOS PONTOS 05, 06 E 07 - RAMAL RIO BRANCO DO SUL

Como as passagens de nível são muito próximas, a utilização da buzina como forma de sinalização é quase que incessante. Nos locais onde foram realizadas as medições os níveis sonoros estão acima de 100 dB(A). Nas casas mais próximas a estas passagens de nível os níveis sonoros imitados são de 85 dB(A) a 100 dB(A). A região afetada é predominantemente residencial, sendo que as residências são muito próximas à linha férrea (menos de 30 metros).

Em locais mais afastados da passagem de nível, o nível sonoro gerado é advindo da passagem do trem, o qual os níveis sonoros imitados na fachada das primeiras residências variam de 75 dB(A) a 80 dB(A).

Pontos 08, 09 e 10 – Ramal Rio Branco do Sul

As passagens de nível onde foram realizadas as medições dos Pontos 08, 09 e 10 são muito próximas, sendo por este motivo, realizadas em apenas um mapa de ruído. A região é densamente urbanizada, com muitas residências e prédios elevados nas proximidades da linha férrea. A figura 71 representa o mapeamento do ruído ferroviário nos Pontos 08, 09 e 10.

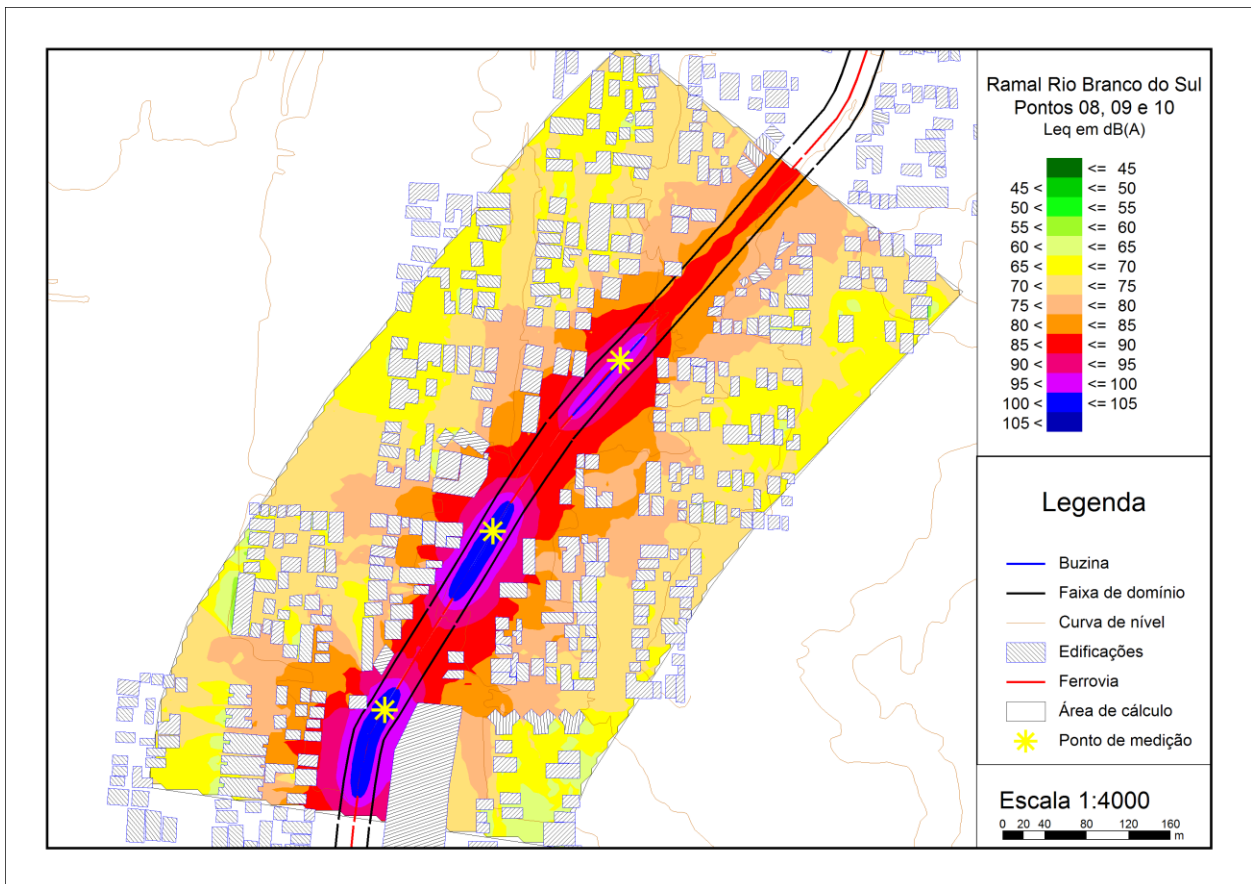


FIGURA 71 - MAPEAMENTO ACÚSTICO NOS PONTOS 08, 09 E 10 - RAMAL RIO BRANCO DO SUL

Como as passagens de nível são muito próximas, a utilização da buzina como forma de sinalização é quase que incessante. Nos locais onde foram realizadas as medições os níveis sonoros estão acima de 100 dB(A). Nas casas mais próximas a estas passagens de nível os níveis sonoros imitados são de 85 dB(A) a 100 dB(A). A região afetada é predominantemente residencial, sendo que as residências são muito próximas à linha férrea (menos de 30 metros).

Em locais mais afastados da passagem de nível, o nível sonoro gerado é advindo da passagem do trem, o qual os níveis sonoros imitados na fachada das primeiras residências variam de 75 dB(A) a 85 dB(A).

Ponto 11 – Ramal Rio Branco do Sul

A região no ponto 11 é densamente urbanizada, com muitas residências e prédios elevados nas proximidades da linha férrea. A figura 72 representa o mapeamento do ruído ferroviário no Ponto 11.

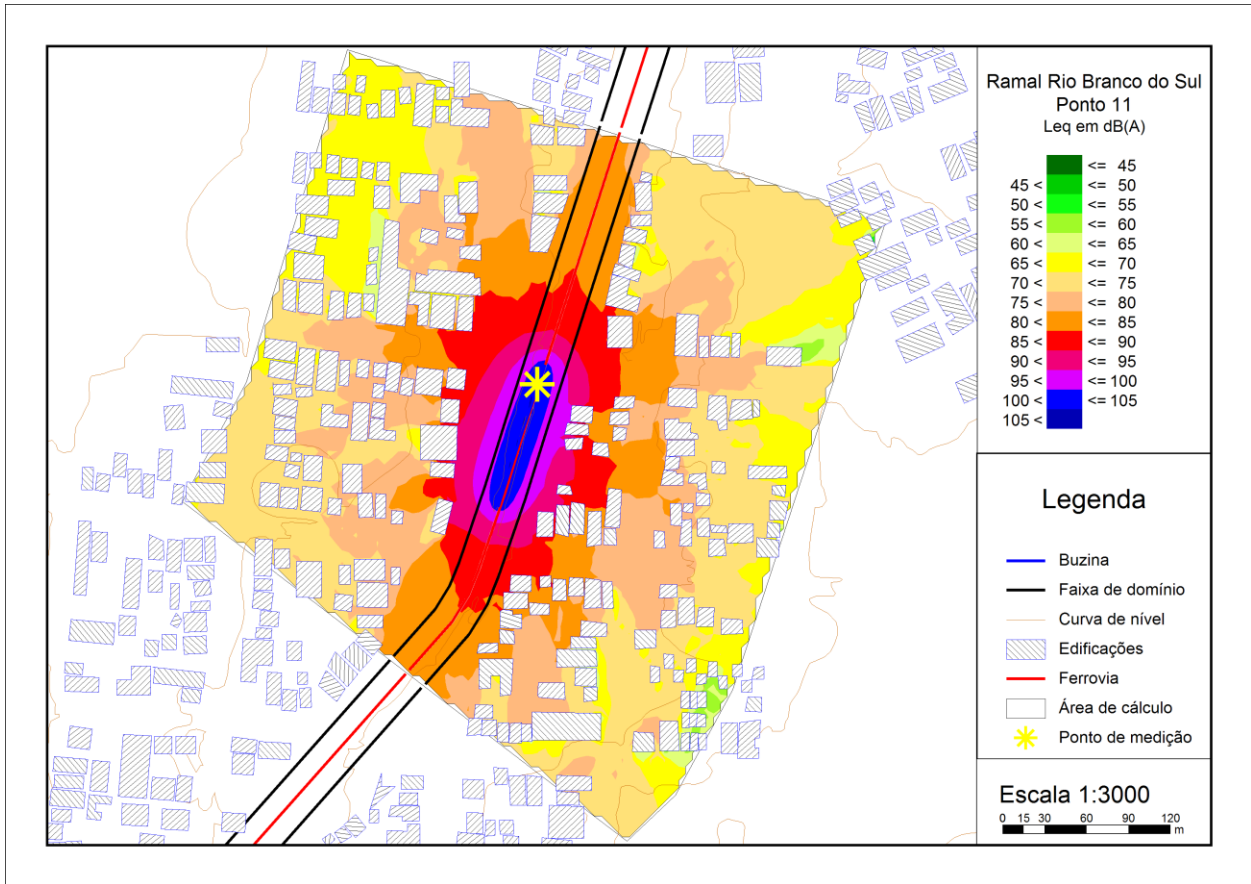


FIGURA 72 - MAPEAMENTO ACÚSTICO NO PONTO 11 - RAMAL RIO BRANCO DO SUL

Nos locais onde foram realizadas as medições, local onde o trem aciona a buzina como forma de sinalização, os níveis sonoros são de 100 dB(A) a 105 dB(A). Nas casas mais próximas, a esta passagem de nível, os níveis sonoros imitados são de 85 dB(A) a 95 dB(A). A região afetada é predominantemente residencial, sendo que as residências são muito próximas à linha férrea (menos de 30 metros).

Em locais mais afastados da passagem de nível, o nível sonoro gerado é advindo da passagem do trem, o qual os níveis sonoros imitados na fachada das primeiras residências variam de 75 dB(A) a 85 dB(A).

Ponto 12 – Ramal Rio Branco do Sul

A região no ponto 12 é densamente urbanizada, com muitas residências e prédios elevados nas proximidades da linha férrea. A figura 73 representa o mapeamento do ruído ferroviário no Ponto 12.

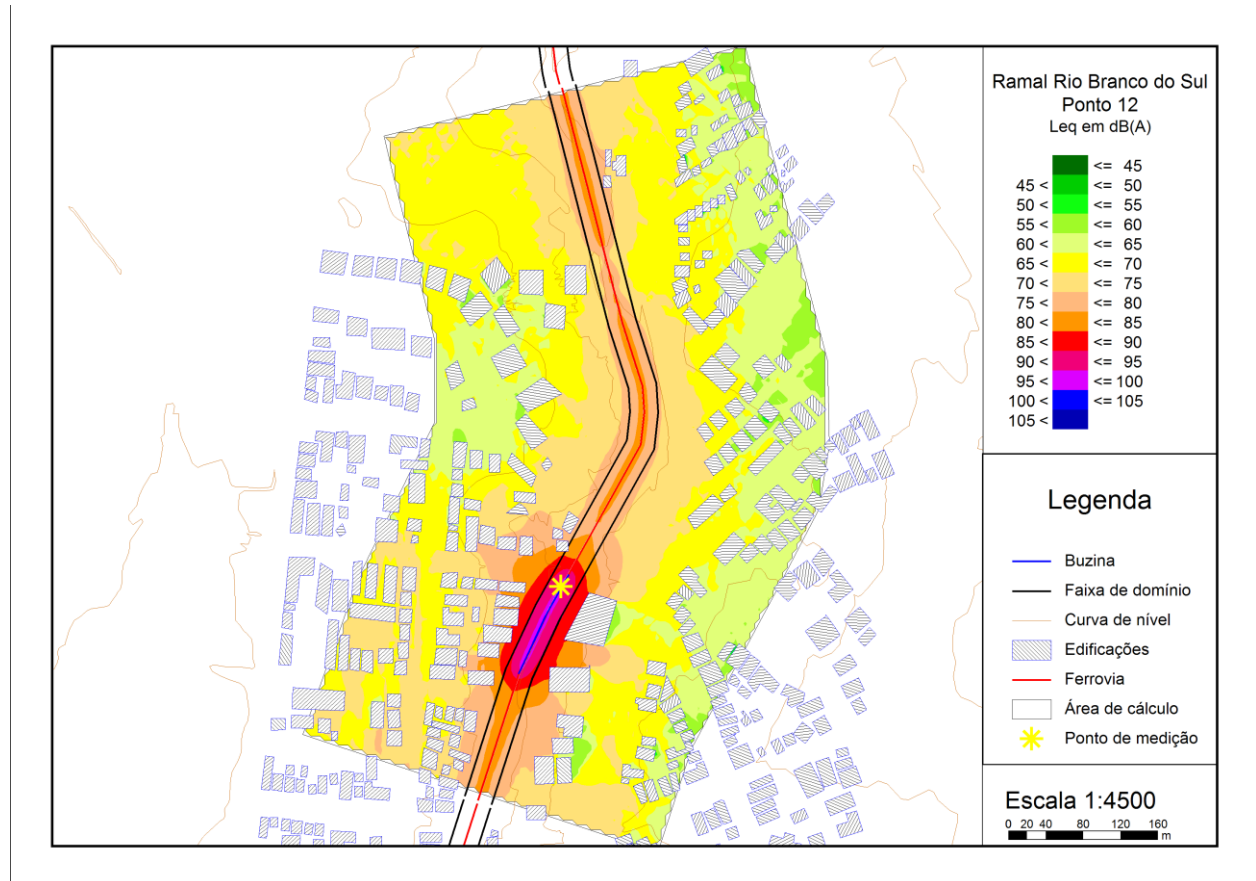


FIGURA 73 - MAPEAMENTO ACÚSTICO NO PONTO 12 - RAMAL RIO BRANCO DO SUL

Nos locais onde foram realizadas as medições, local onde o trem aciona a buzina como forma de sinalização, os níveis sonoros são de 95 dB(A) a 100 dB(A). Nas casas mais próximas, a esta passagem de nível, os níveis sonoros imitados são de 85 dB(A) a 90 dB(A). A região afetada é predominantemente residencial, sendo que as residências são muito próximas à linha férrea (menos de 30 metros).

Em locais mais afastados da passagem de nível, o nível sonoro gerado é advindo da passagem do trem, o qual os níveis sonoros imitados na fachada das primeiras residências variam de 65 dB(A) a 70 dB(A).

Pontos 13, 14, 15, 16 e 17 – Ramal Rio Branco do Sul

As passagens de nível onde foram realizadas as medições dos Pontos 13, 14, 15, 16 e 17 são muito próximas, sendo por este motivo, realizadas em apenas um mapa de ruído. A região é densamente urbanizada, com muitas residências e prédios elevados nas proximidades da linha férrea. A figura 74 representa o mapeamento do ruído ferroviário nos Pontos 13, 14, 15, 16 e 17.

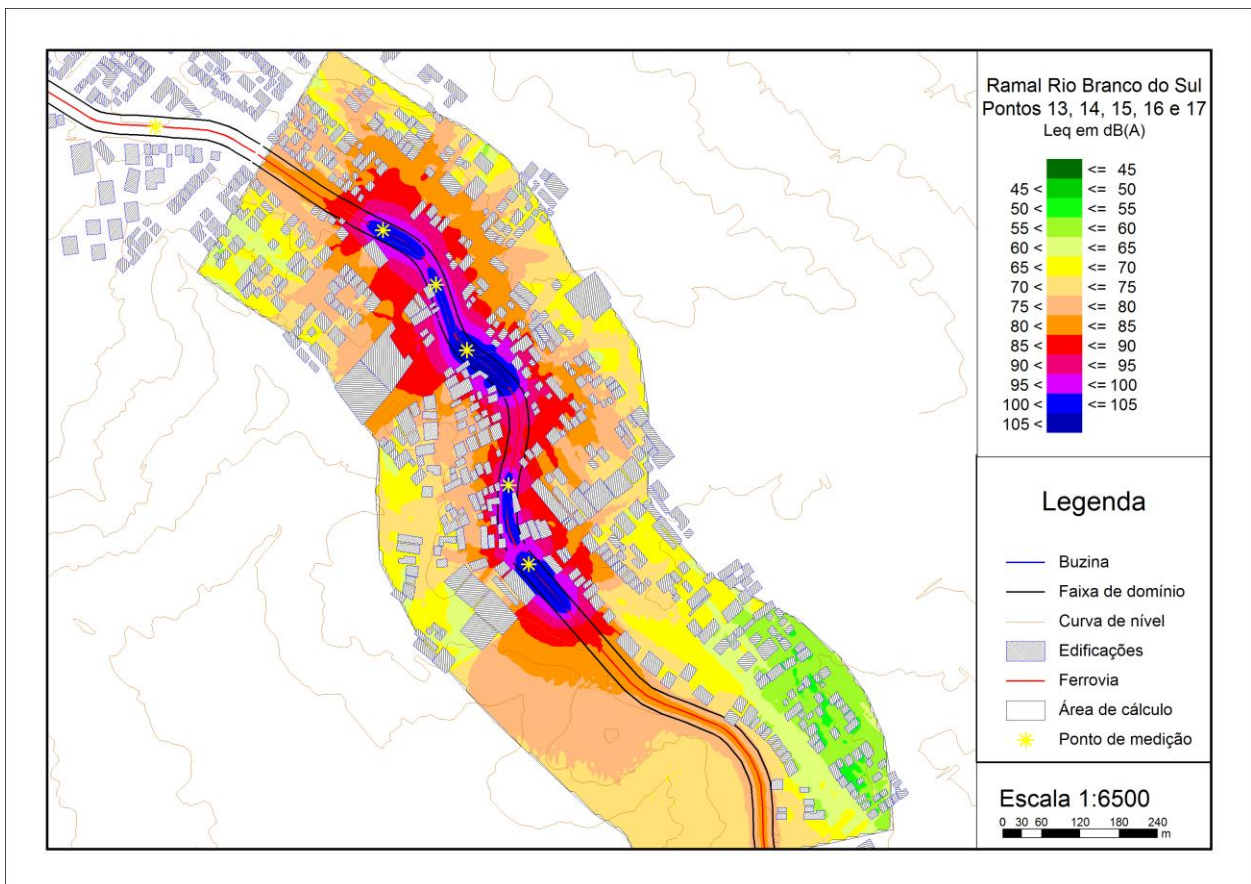


FIGURA 74 - MAPEAMENTO ACÚSTICO NOS PONTOS 13, 14, 15, 16 E 17 - RAMAL RIO BRANCO DO SUL

Como as passagens de nível são muito próximas, a utilização da buzina como forma de sinalização é quase que incessante. Nos locais onde foram realizadas as medições os níveis sonoros estão acima dos 105 dB(A). Deve ser levado em conta que o trem aciona a buzina em

cada uma das 5 passagens de nível, sendo esta região extremamente afetada pelos elevados níveis sonoros. Nas casas mais próximas a estas passagens de nível os níveis sonoros imitados são de 90 dB(A) a 100 dB(A). A região afetada é predominantemente residencial, sendo que as residências são muito próximas à linha férrea (menos de 30 metros).

Em locais mais afastados da passagem de nível, o nível sonoro gerado é advindo da passagem do trem, o qual os níveis sonoros imitados na fachada das primeiras residências variam de 75 dB(A) a 80 dB(A).

Ponto 18 – Ramal Rio Branco do Sul

A região no ponto 18 é densamente urbanizada, com muitas residências e prédios elevados nas proximidades da passagem de nível e da linha férrea. A figura 75 representa o mapeamento do ruído ferroviário no Ponto 18.

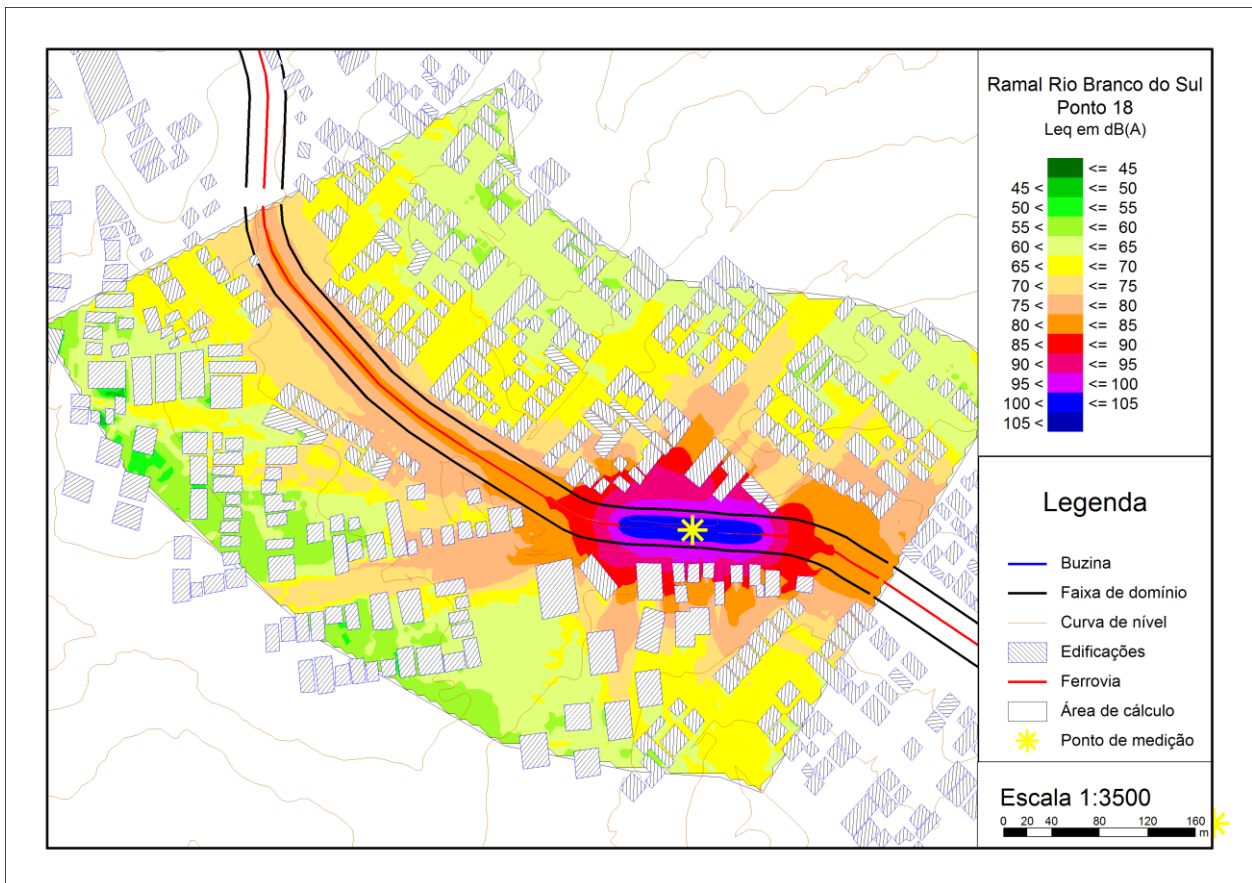


FIGURA 75 - MAPEAMENTO ACÚSTICO NO PONTO 18 - RAMAL RIO BRANCO DO SUL

Nos locais onde foram realizadas as medições, local onde o trem aciona a buzina como forma de sinalização, os níveis sonoros ultrapassam 100 dB(A). Nas casas mais próximas, a esta passagem de nível, os níveis sonoros imitados são de 90 dB(A) a 100 dB(A). A região afetada é predominantemente residencial, sendo que as residências são muito próximas à linha férrea (menos de 30 metros).

Em locais mais afastados da passagem de nível, o nível sonoro gerado é advindo da passagem do trem, o qual os níveis sonoros imitados na fachada das primeiras residências variam de 70 dB(A) a 80 dB(A).

Ponto 19 – Ramal Rio Branco do Sul

A região no ponto 19 é densamente urbanizada, com muitas residências e grandes galpões nas proximidades da passagem de nível e da linha férrea. A figura 76 representa o mapeamento do ruído ferroviário no Ponto 19.

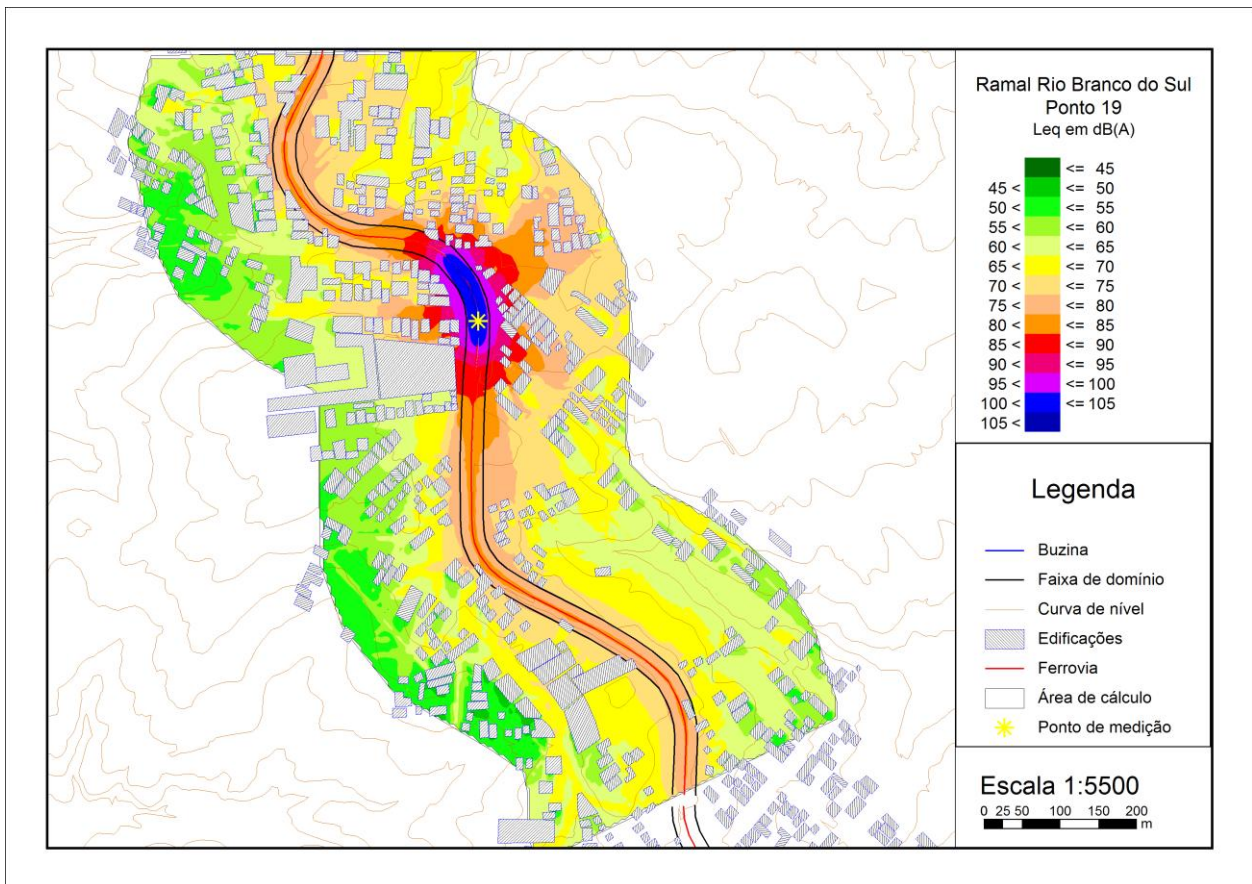


FIGURA 76 - MAPEAMENTO ACÚSTICO NO PONTO 19 - RAMAL RIO BRANCO DO SUL

Nos locais onde foram realizadas as medições, local onde o trem aciona a buzina como forma de sinalização, os níveis sonoros ultrapassam 105 dB(A). Nas casas mais próximas a esta passagem de nível os níveis sonoros imitados são de 90 dB(A) a 100 dB(A). A região afetada é predominantemente residencial, sendo que existem residências dentro da faixa de domínio, desobedecendo à lei federal nº 6766/79 (BRASIL, 1979) atualizada pela lei nº 10.932/04 (BRASIL, 2004). Nestes locais os níveis sonoros variam de 80 dB(A) a 85 dB(A).

Em locais mais afastados da passagem de nível, o nível sonoro gerado é advindo da passagem do trem, o qual os níveis sonoros imitados na fachada das primeiras residências variam de 75 dB(A) a 85 dB(A).

Visualização global – Ramal Rio Branco do Sul

A passagem do trem e o acionamento da buzina são ações instantâneas, ou seja, só podem acontecer em uma passagem de nível de cada vez. Para uma visualização global e abrangente de todos os pontos em conjunto do Ramal Rio Branco do Sul, foi realizada a junção de todos os mapas. Esse mapa de ruído, com os 19 pontos, foi elaborado com intuito de uma visualização global dos níveis sonoros imitados pela composição ferroviária [Figura 77].

Nota-se que o acionamento da buzina, nas passagens de nível, causa elevados níveis sonoros, pois as cores azul escuro, azul claro e roxo claro (níveis sonoros acima de 95 dB(A)) predominam nestes locais.

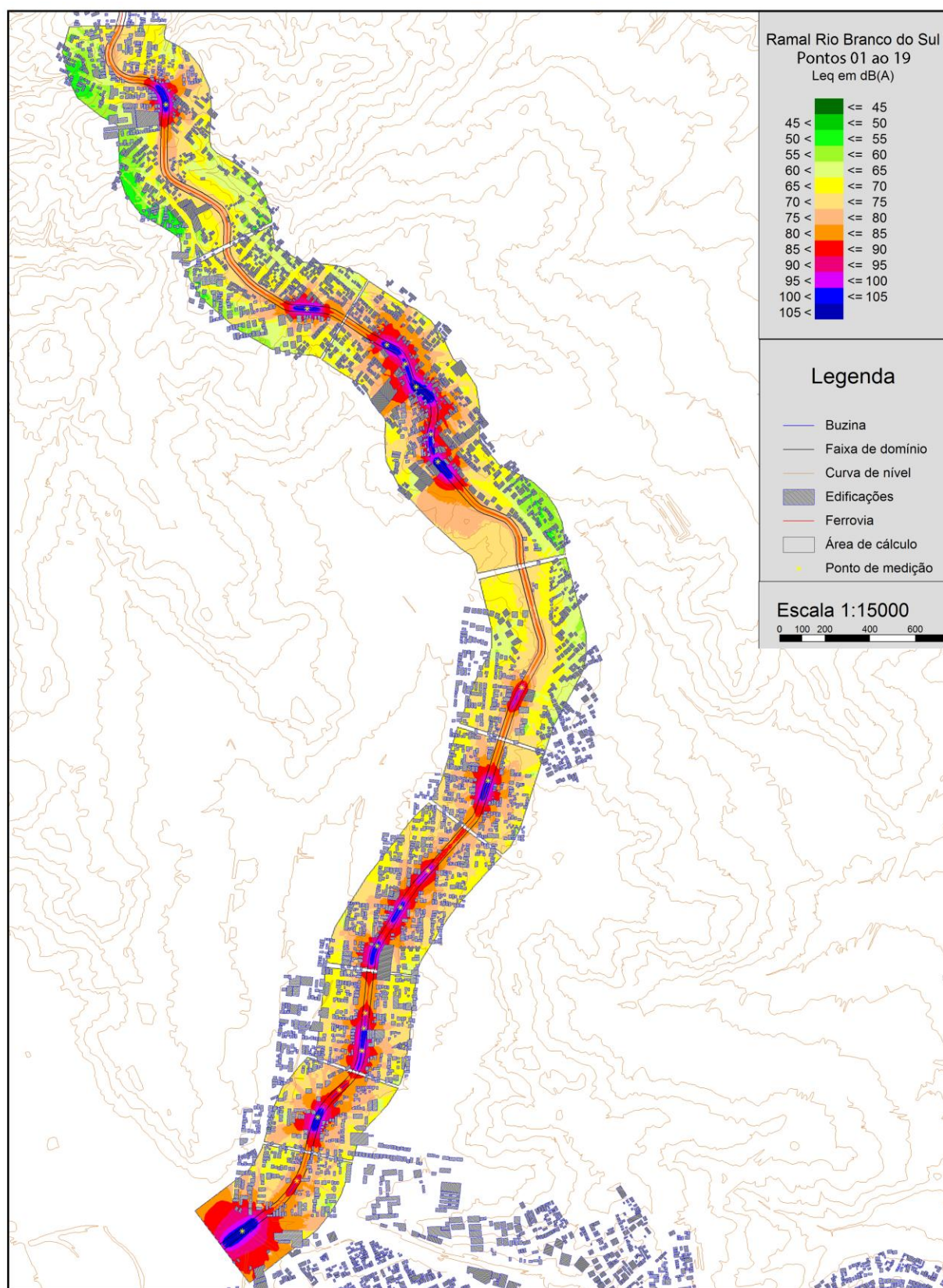


FIGURA 77 - MAPEAMENTO ACÚSTICO – TODOS OS PONTOS DO RAMAL RIO BRANCO DO SUL

A tabela 17, obtida da análise dos mapeamentos acústicos, também apresenta uma avaliação global dos níveis sonoros nos pontos avaliados no Ramal Rio Branco do Sul.

TABELA 17 - AVALIAÇÃO GLOBAL DOS NÍVEIS SONOROS NO RAMAL RIO BRANCO DO SUL

Ponto	L_{eq} no local de acionamento da buzina do trem	L_{eq} na fachada das casas mais próximas a passagem de nível	L_{eq} na fachada das casas mais afastadas da passagem de nível
01 e 02	100 dB(A) a 115 dB(A)	80 dB(A) a 95 dB(A)	75 dB(A) a 85 dB(A)
03 e 04	100 dB(A) a 110 dB(A)	90 dB(A) a 100 dB(A)	70 dB(A) a 75 dB(A)
05, 06 e 07	Acima de 100 dB(A)	85 dB(A) a 100 dB(A)	75 dB(A) a 80 dB(A)
08, 09 e 10	Acima de 100 dB(A)	85 dB(A) a 100 dB(A)	75 dB(A) a 85 dB(A)
11	100 dB(A) a 105 dB(A)	85 dB(A) a 95 dB(A)	75 dB(A) a 85 dB(A)
12	95 dB(A) a 100 dB(A)	85 dB(A) a 90 dB(A)	65 dB(A) a 70 dB(A)
13, 14, 15, 16 e 17	Acima de 105 dB(A)	90 dB(A) a 100 dB(A)	75 dB(A) a 80 dB(A)
18	Acima de 100 dB(A)	90 dB(A) a 100 dB(A)	70 dB(A) a 80 dB(A)
19	Acima de 105 dB(A)	90 dB(A) a 100 dB(A)	75 dB(A) a 85 dB(A)

6.3 CENÁRIOS

A avaliação da situação atual, nos itens 6.1 e 6.2, demonstram os impactos ambientais sonoros causados pelo modal ferroviário na cidade de Curitiba. Tendo-se conhecimento através das medições e dos mapeamentos acústicos, a apresentação de soluções se faz necessária. A presença de centros de educação infantil e fundamental e hospitais próximos à linha férrea, foram fatores determinantes para escolha dos locais onde foram aplicadas 3 possíveis medidas de controle de ruído.

A importância da escolha destes locais se dá ao fato de hospitais e escolas serem consideradas zonas de silêncio, como citado no item 4.5.3. Os níveis máximos permitidos para estas regiões, segundo a lei municipal 10.625/02, são de 55 dB(A) para período diurno, 50 dB(A) para período vespertino e 45 dB(A) para período noturno.

Seguindo a metodologia, item 5.4, foram realizados mapeamentos acústicos, em 2 e 3 dimensões, para previsão de 3 diferentes situações de um mesmo trecho. Cada situação analisa diferentes parâmetros, sendo eles:

1. Exclusão da Buzina: comparação entre a situação atual e um cenário onde não seja utilizada a buzina como sinal de aviso;
2. Inserção de barreiras acústicas: comparação entre a situação atual e um cenário com barreiras acústicas paralelas a linha férrea;
3. Retirada do trem do trecho urbano: comparação entre a situação atual e caso entrasse em vigor o contorno ferroviário.

6.3.1 PREVISÃO 1 – NÃO ACIONAMENTO DA BUZINA NAS PASSAGENS DE NÍVEL

Através das medições e simulações, percebe-se que um dos principais problemas da circulação dos trens se deve ao fato do acionamento da buzina nas passagens de nível. O acionamento se faz necessário, pois a conexão entre a via férrea e as vias urbanas está em um mesmo nível. Para que não seja necessário o acionamento da buzina nas passagens de nível, existem 2 opções: 1) A construção de trincheiras, e 2) A instalação de cancelas nas passagens de nível para interrupção da passagem dos automóveis nestes cruzamentos.

Para verificar se o não acionamento da buzina é uma medida eficiente para diminuição do ruído ferroviário, foram realizados mapeamentos acústicos nos Pontos 01, 04 e 05, locais onde se encontram os Hospitais Cajuru e Marcelino Champagnat e o Colégio Estadual Maria Aguiar Teixeira [Figura 78].

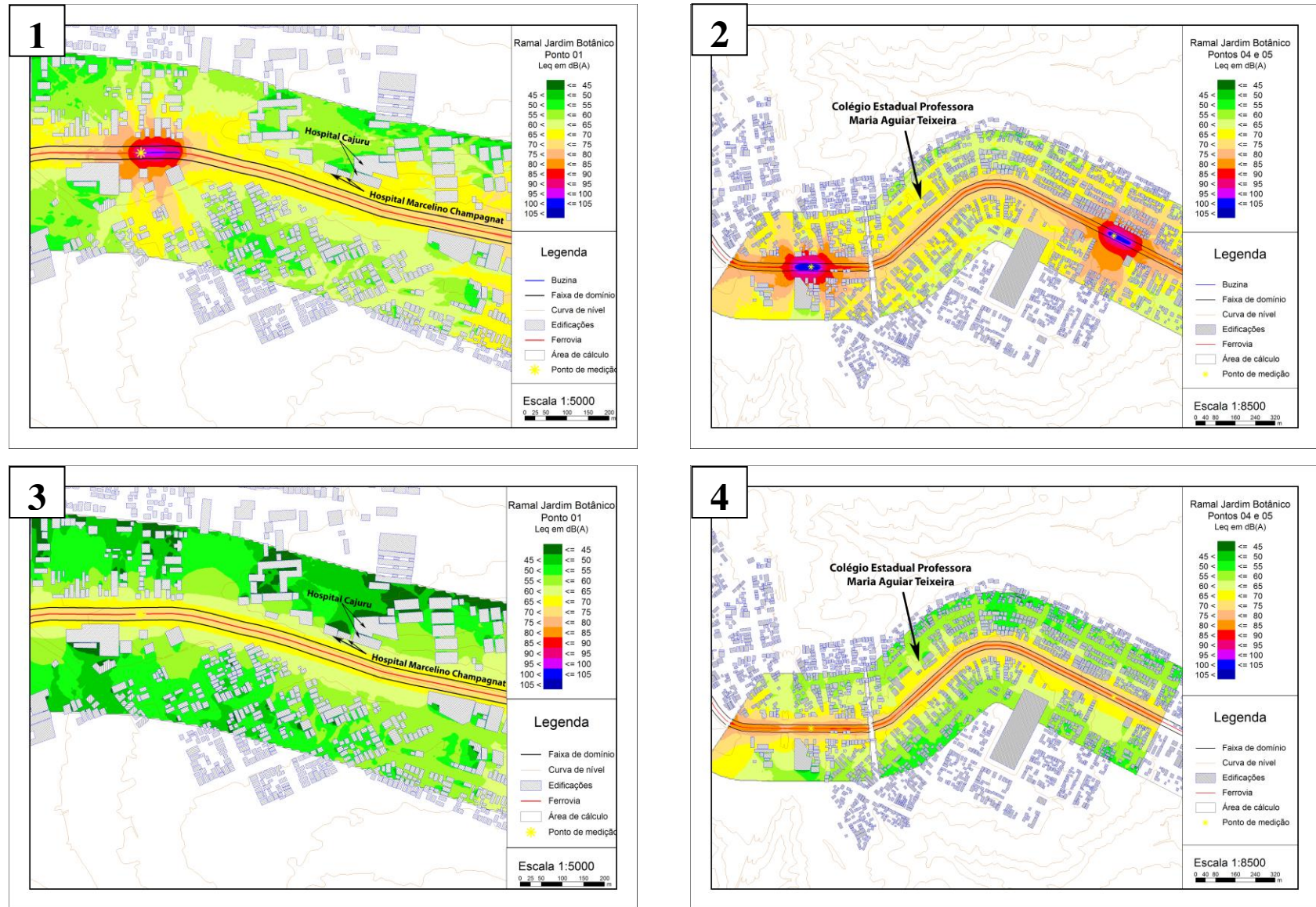


FIGURA 78 – MAPEAMENTO ACÚSTICO COM O ACIONAMENTO DA BUZINA (1 E 2) E CENÁRIO SEM O ACIONAMENTO DA BUZINA (3 E 4)

A utilização da buzina do trem, para sinalização da chegada da composição, ocasiona elevados níveis sonoros (95-110 dB(A)) nas proximidades das passagens de nível.

No Ponto 01, onde se encontram os hospitais, os níveis sonoros imitados nas residências próximas a passagem de nível diminuem de 80-90 dB(A) para 60-70 dB(A), acarretando em uma grande diminuição (10-30 dB(A)) apenas com o não acionamento da buzina do trem.

Nos Pontos 04 e 05, onde se encontra o colégio, os níveis sonoros imitados nas residências próximas a passagem de nível diminuem de 85-95 dB(A) para 65-75 dB(A), acarretando em uma grande diminuição (10-30 dB(A)) apenas com o não acionamento da buzina do trem.

Em ambos os mapeamentos percebe-se uma grande mudança de cores. Com o acionamento da buzina, antes das passagens de nível, predominam as cores azul, roxo e vermelho, que representam níveis sonoros acima de 85 dB(A). Após a eliminação do uso da buzina como sinal de alerta, as cores que agora predominam são o laranja claro, amarelo e verde, representando níveis sonoros entre 55 e 75 dB(A). Isto significa, que em ambos os locais de estudo, o não acionamento da buzina se faz uma medida eficiente para a diminuição dos níveis sonoros.

Em seguida, foram realizados mapeamentos acústicos nas fachadas dos Hospitais Cajuru e Marcelino Champagnat [Figura 79] e do Colégio Estadual Maria Aguiar Teixeira [Figura 80]. Estes locais são considerados zonas de silêncio e medidas devem ser tomadas para que os níveis sonoros nestas localidades estejam em conformidade com a legislação.

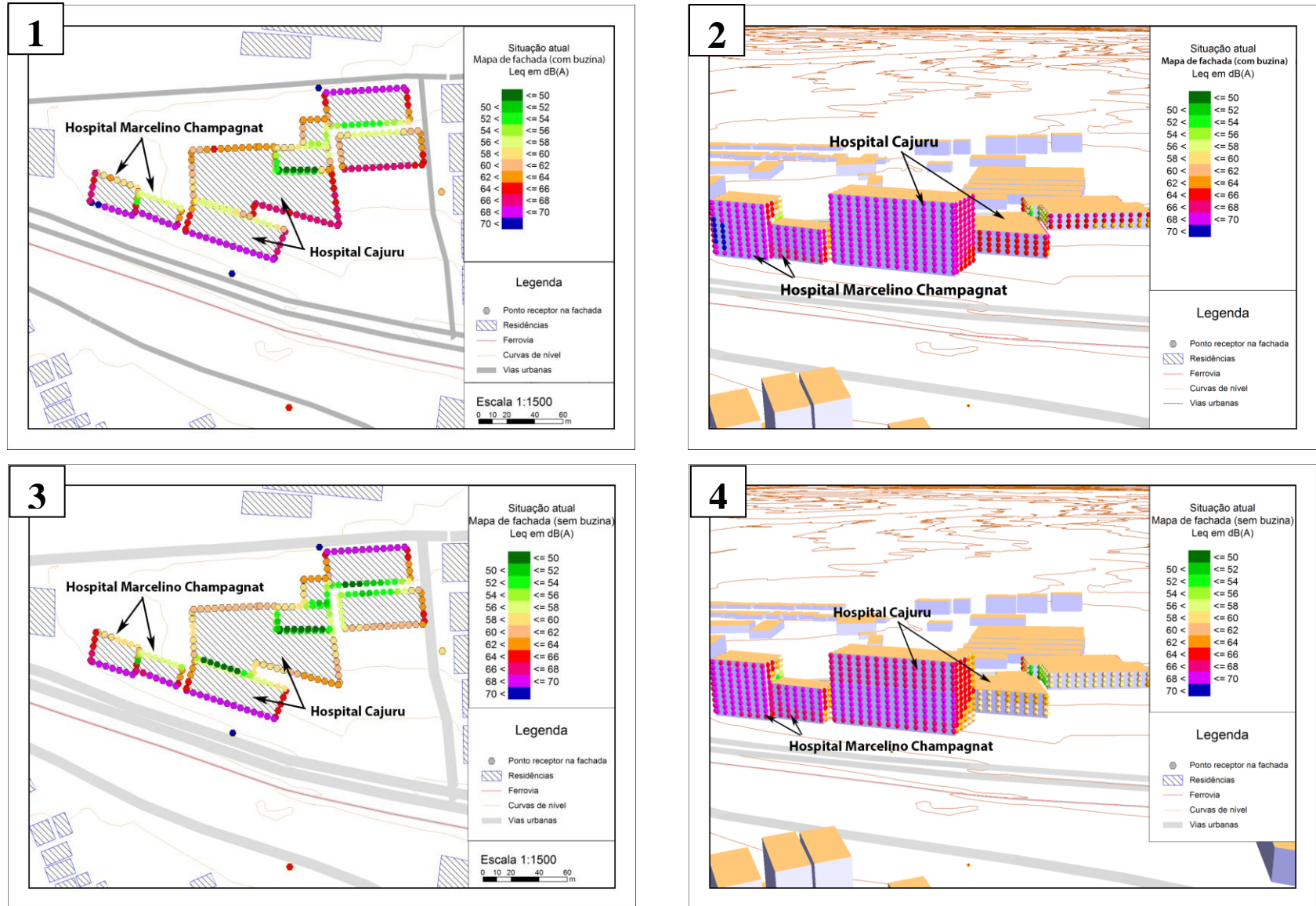


FIGURA 79 – MAPEAMENTO ACÚSTICO DE FACHADA DO HOSPITAL CAJURU E MARCELINO CHAMPAGNAT – CENÁRIO COM O ACIONAMENTO DA BUZINA (1 E 2) E CENÁRIO SEM O ACIONAMENTO DA BUZINA (3 E 4)

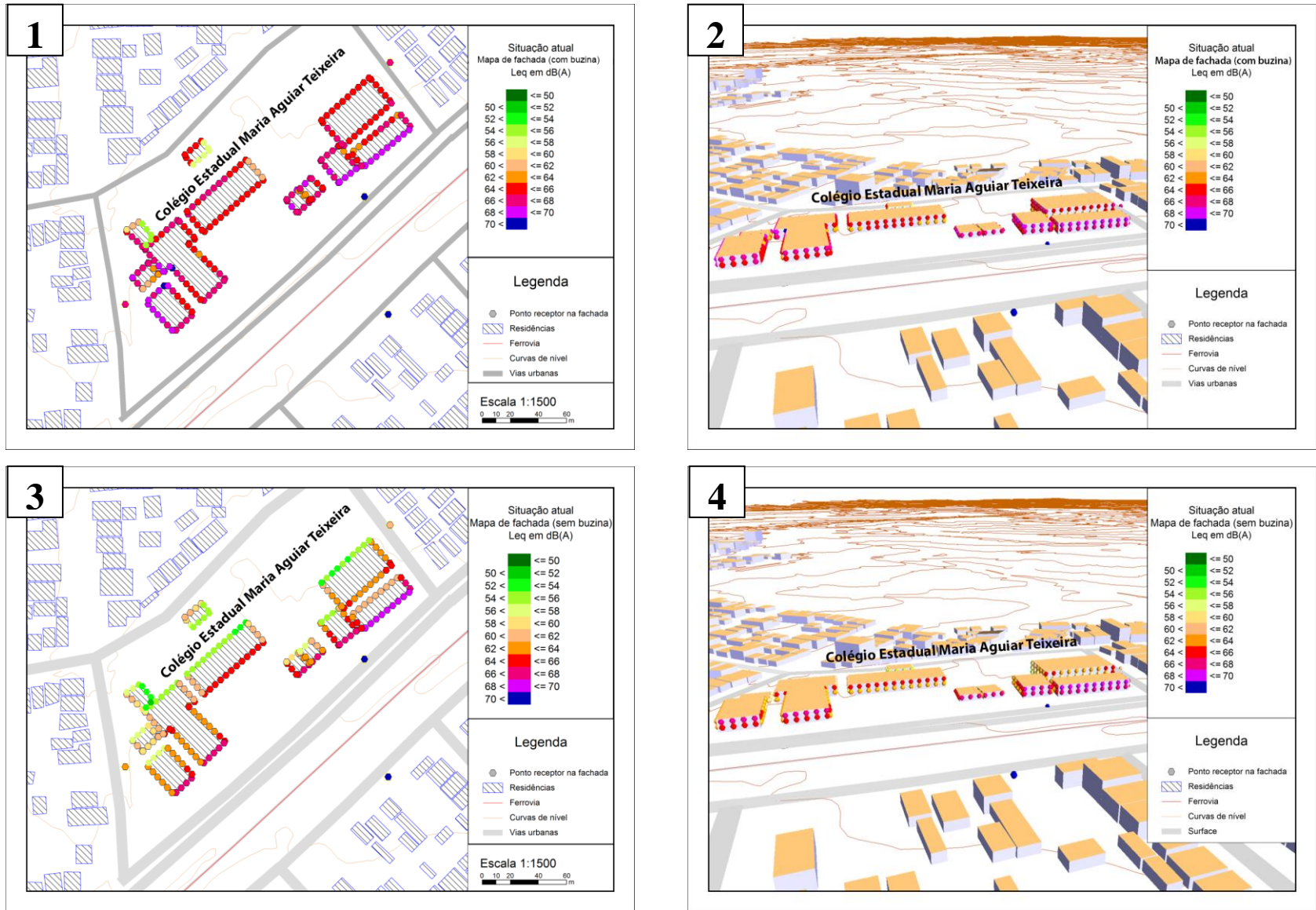


FIGURA 80 - MAPEAMENTO ACÚSTICO DE FACHADA DO COLÉGIO ESTADUAL MARIA AGUIAR TEIXEIRA – CENÁRIO COM O ACIONAMENTO DA BUZINA (1 E 2) E CENÁRIO SEM O ACIONAMENTO DA BUZINA (3 E 4)

Dos mapeamentos de fachada dos Hospitais Cajuru e Marcelino Champagnat e Colégio Estadual Maria Aguiar Teixeira, foram obtidos os seguintes resultados [Tabela 18].

TABELA 18 - NÍVEIS SONOROS NAS FACHADAS – PREVISÃO 1

	L_{eq} – Com o acionamento da buzina	L_{eq} – Sem o acionamento da buzina	Diminuição dos níveis sonoros
Hospital Marcelino Champagnat	68 dB(A) – 70 dB(A)	66 dB(A) – 68 dB(A)	Até 4 dB(A)
Hospital Cajuru	64 dB(A) – 70 dB(A)	60 dB(A) – 68 dB(A)	Até 6 dB(A)
Colégio Estadual Maria Aguiar Teixeira	66 dB(A) – 70 dB(A)	64 dB(A) – 68 dB(A)	Até 6 dB(A)

Os Hospitais Cajuru e Marcelino Champagnat se encontram entre as passagens de nível 01 e 02, e apesar da distância entre os hospitais e as passagens de nível, os níveis sonoros diminuem sensivelmente, até 6 dB(A), com o não acionamento da buzina do trem.

O colégio Estadual Maria Aguiar Teixeira se encontra entre as passagens de nível 04 e 05. Apesar da distância, a diminuição dos níveis sonoros é considerável, até 6 dB(A).

Um fato a ser considerado é o de que os hospitais e a escola, regiões sensíveis em estudo, se encontram distantes das passagens de nível e próximos a ruas de grande fluxo de veículos. Devido a este fato, a diminuição dos níveis sonoros nos pontos sensíveis não se deu de forma tão efetiva como nas proximidades das passagens de nível. Nas proximidades das passagens de nível o não acionamento da buzina ocasiona uma diminuição de até 30 dB(A).

6.3.2 PREVISÃO 2 – INSERÇÃO DE BARREIRAS ACÚSTICAS

A segunda possível alternativa para diminuição dos níveis sonoros próximos à linha férrea é a inserção de barreiras acústicas. A barreira acústica utilizada no modelo é uma barreira de 5 metros de altura e foi projetada paralelamente a linha férrea, como citado no item 5.4.2.

Para verificar se a construção de barreiras acústicas, nos locais em estudo, é uma medida eficiente para diminuição do ruído ferroviário, foram realizados mapeamentos acústicos nos Pontos 01, 04 e 05 [Figura 81].

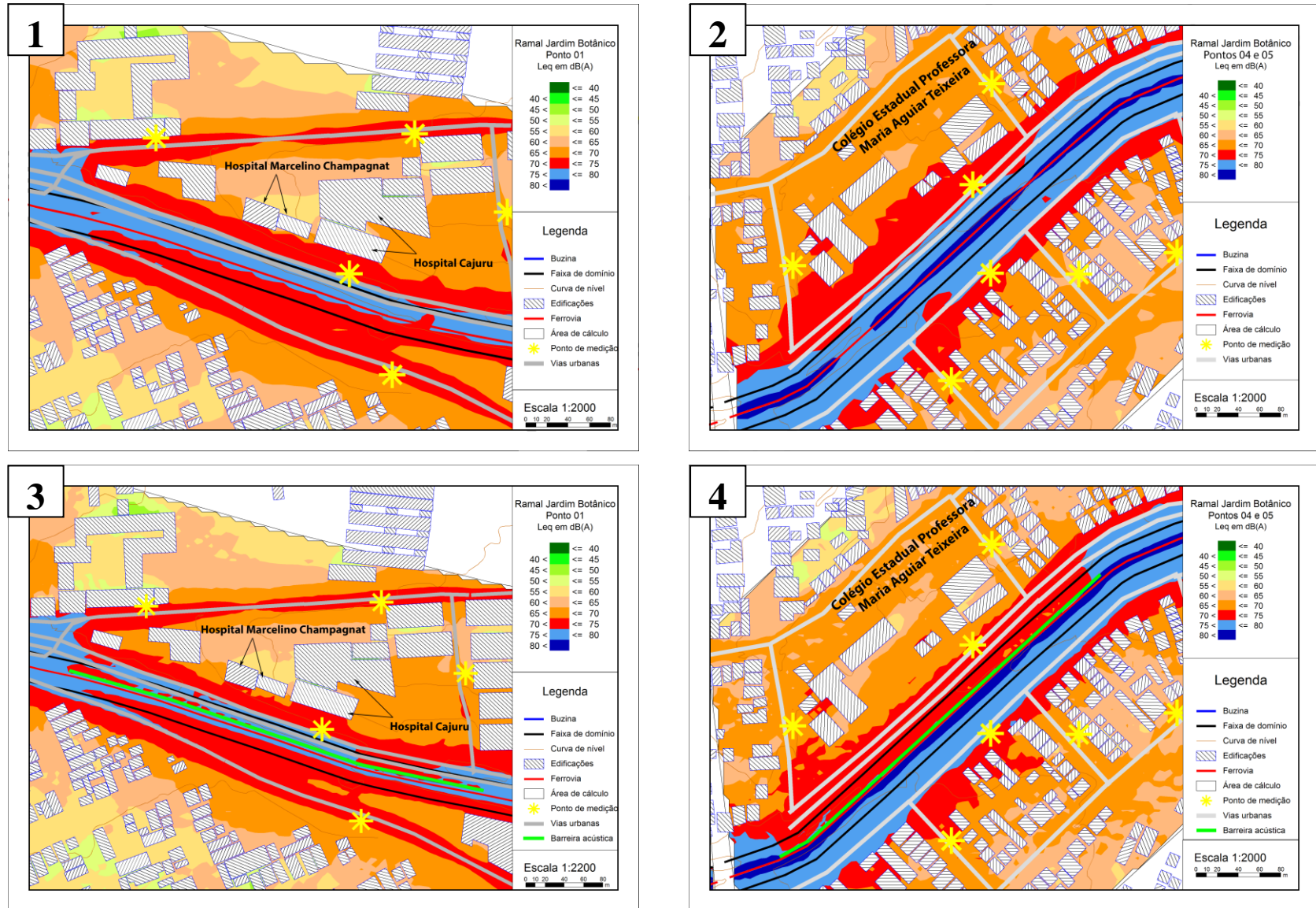


FIGURA 81 – MAPEAMENTO ACÚSTICO SEM A INSERÇÃO DE UMA BARREIRA ACÚSTICA (1 E 2) E COM A INSERÇÃO DE UMA BARREIRA ACÚSTICA (3 E 4)

No Ponto 01, com a inserção das barreiras, os níveis sonoros na linha férrea diminuem de 75-80 dB(A) para 70-75 dB(A). Nas proximidades dos hospitais Cajuru e Marcelino Champagnat a diminuição foi menor que 5 dB(A) com a medida.

Nos Pontos 04 e 05, com a inserção das barreiras, os níveis sonoros na linha férrea diminuem de 80-85(A) para 70-75 dB(A), acarretando em uma diminuição na faixa de 10 dB(A). Nas proximidades da Escola Estadual Professora Maria Aguiar Teixeira os níveis sonoros diminuem de 70-75 dB(A) para 65-70 dB(A), acarretando em uma diminuição de até 5 dB(A) com a inserção da barreira acústica.

Em seguida, foram realizados mapeamentos acústicos nas fachadas dos Hospitais Cajuru e Marcelino Champagnat [Figura 82] e do Colégio Estadual Maria Aguiar Teixeira [Figura 83]. Estes locais são considerados zonas de silêncio e medidas devem ser tomadas para que os níveis sonoros nestas localidades estejam em conformidade com a legislação.

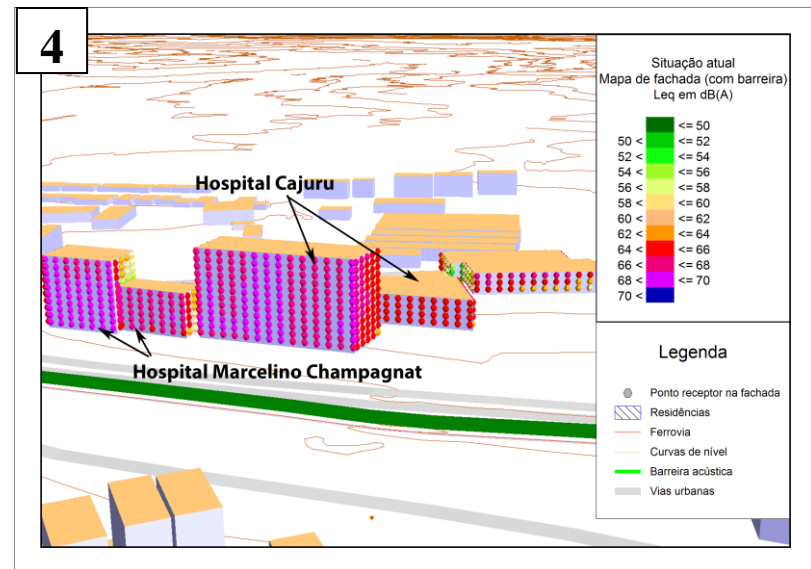
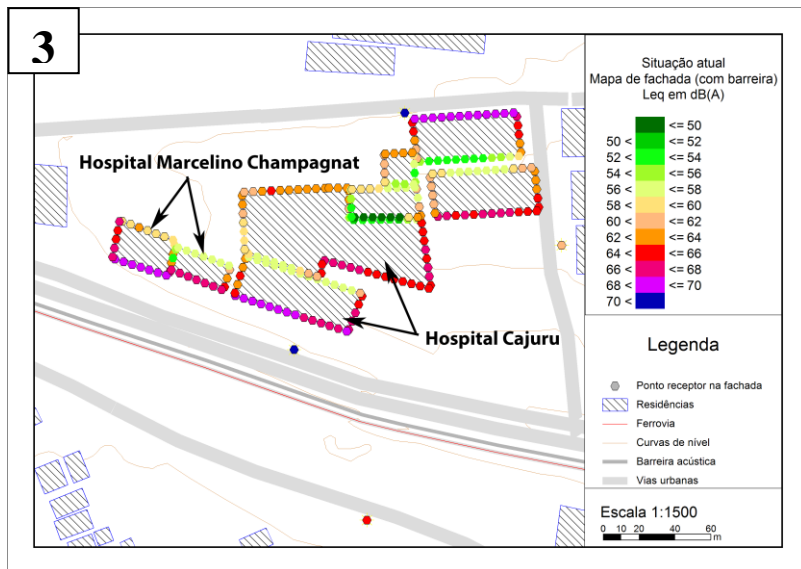
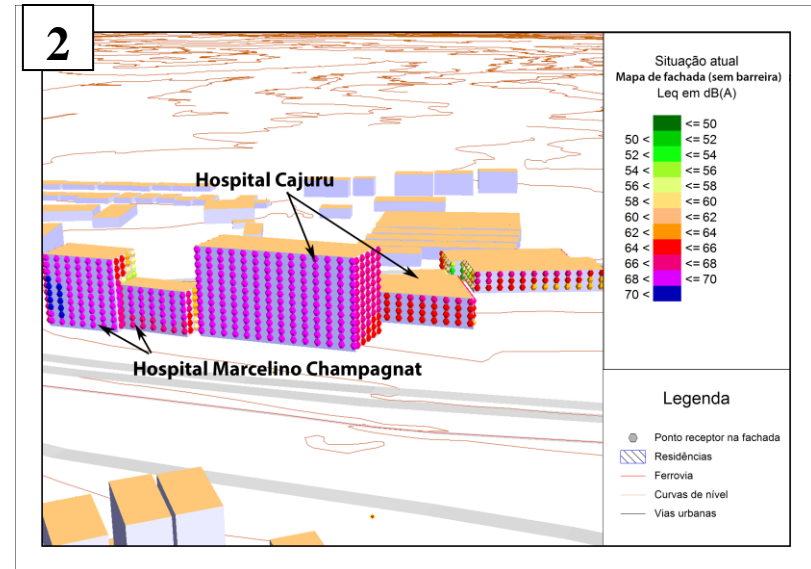
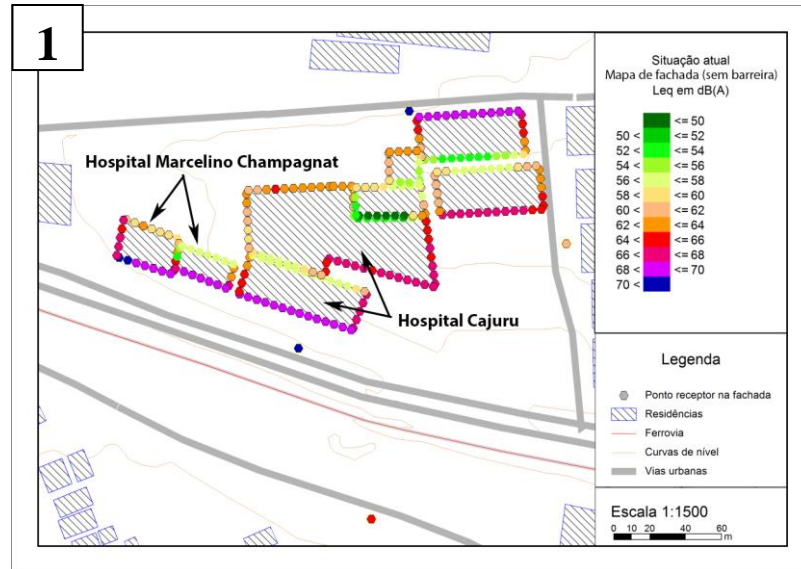


FIGURA 82 – MAPEAMENTO ACÚSTICO DE FACHADA DO HOSPITAL CAJURU E MARCELINO CHAMPAGNAT – CENÁRIO SEM A INSERÇÃO DA BARREIRA ACÚSTICA (1 E 2) E CENÁRIO COM A BARREIRA ACÚSTICA (3 E 4)

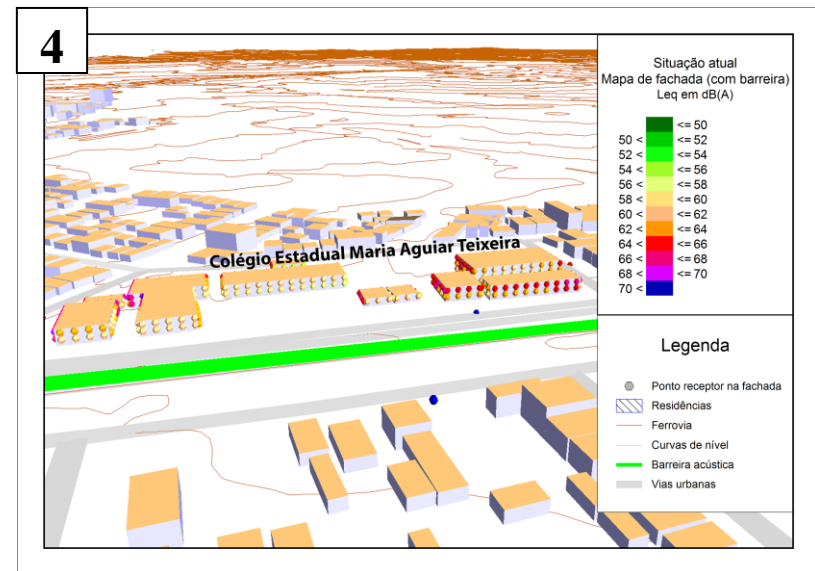
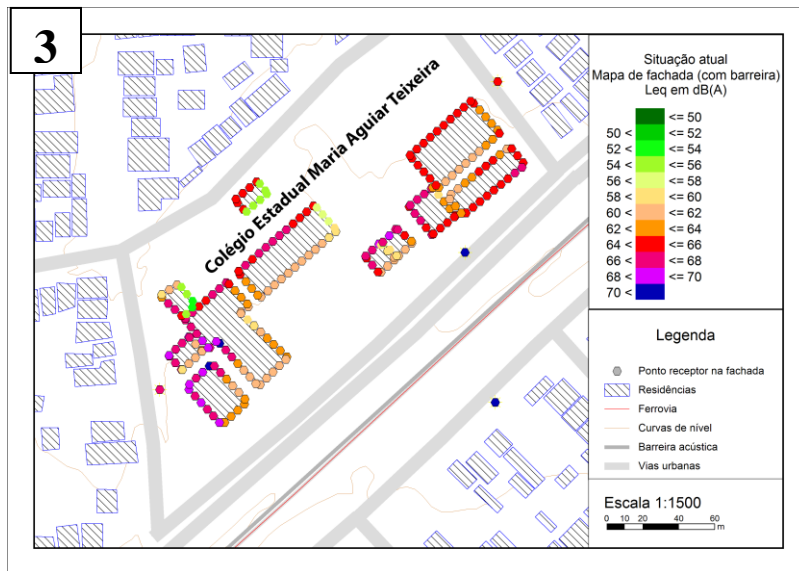
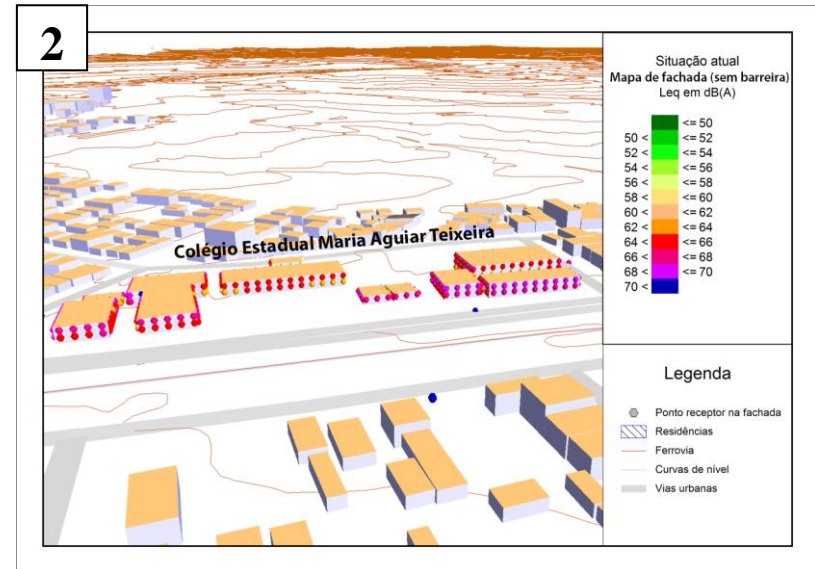
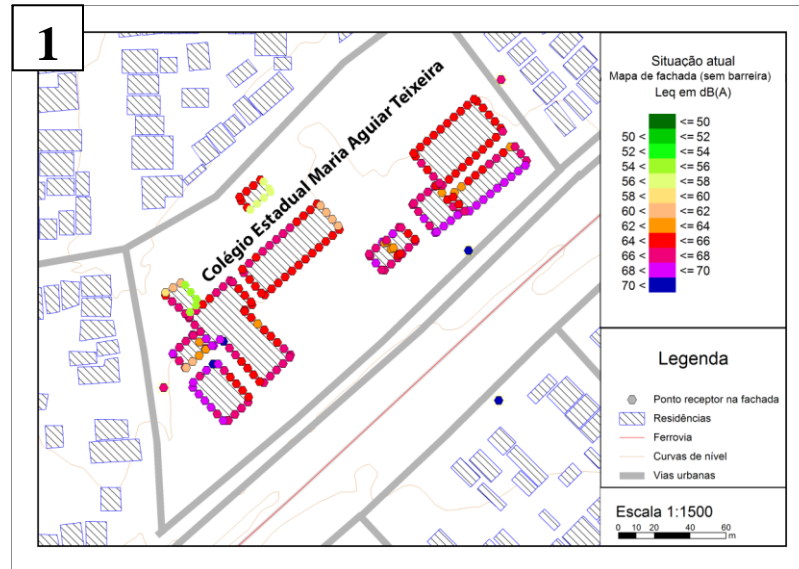


FIGURA 83 - MAPEAMENTO ACÚSTICO DE FACHADA DO COLÉGIO ESTADUAL MARIA AGUIAR TEIXEIRA – CENÁRIO SEM A INSERÇÃO DA BARREIRA ACÚSTICA (1 E 2) E CENÁRIO COM A BARREIRA ACÚSTICA (3 E 4)

Dos mapeamentos de fachada dos Hospitais Cajuru e Marcelino Champagnat e Colégio Estadual Maria Aguiar Teixeira, foram obtidos os seguintes resultados [Tabela 19].

TABELA 19 - NÍVEIS SONOROS NAS FACHADAS – PREVISÃO 2

	L_{eq} – Sem barreira acústica	L_{eq} – Com barreira acústica	Diminuição dos níveis sonoros
Hospital Marcelino Champagnat	68 dB(A) – 70 dB(A)	66 dB(A) – 70 dB(A)	Até 2 dB(A)
Hospital Cajuru	64 dB(A) – 70 dB(A)	64 dB(A) – 68 dB(A)	Até 2 dB(A)
Colégio Estadual Maria Aguiar Teixeira	66 dB(A) – 70 dB(A)	58 dB(A) – 68 dB(A)	Até 8 dB(A)

A tabela 19 mostra que a inserção de uma barreira acústica nas proximidades dos hospitais pode ocasionar uma diminuição de apenas 2 dB(A). O principal fator que ocasiona esta pequena diminuição dos níveis sonoros é o grande fluxo de veículos e ônibus nas vias urbanas atrás da barreira acústica.

O colégio Estadual Maria Aguiar Teixeira se encontra entre as passagens de nível 04 e 05. A diminuição dos níveis sonoros chega a 8 dB(A) na fachada da escola com a construção da barreira acústica. A diminuição é maior na fachada do colégio, pois o fluxo na Avenida Affonso Camargo nesta região é menor do que nas proximidades dos Hospitais, logo a influência do ruído rodoviário é menor.

6.3.3 PREVISÃO 3 – RETIRADA DO TREM DO TRECHO URBANO

A presença da linha férrea em meio urbano causa diversos problemas a população lindeira à via. A criação de um contorno ferroviário, em muitos casos é levantada como uma opção para a melhoria destes problemas. Para verificar se a criação de um contorno ferroviário é uma medida eficiente para diminuição do ruído ferroviário, foram realizados mapeamentos acústicos nos Pontos 01, 04 e 05, locais onde se encontram os Hospitais Cajuru e Marcelino Champagnat o Colégio Estadual Maria Aguiar Teixeira [Figura 84].

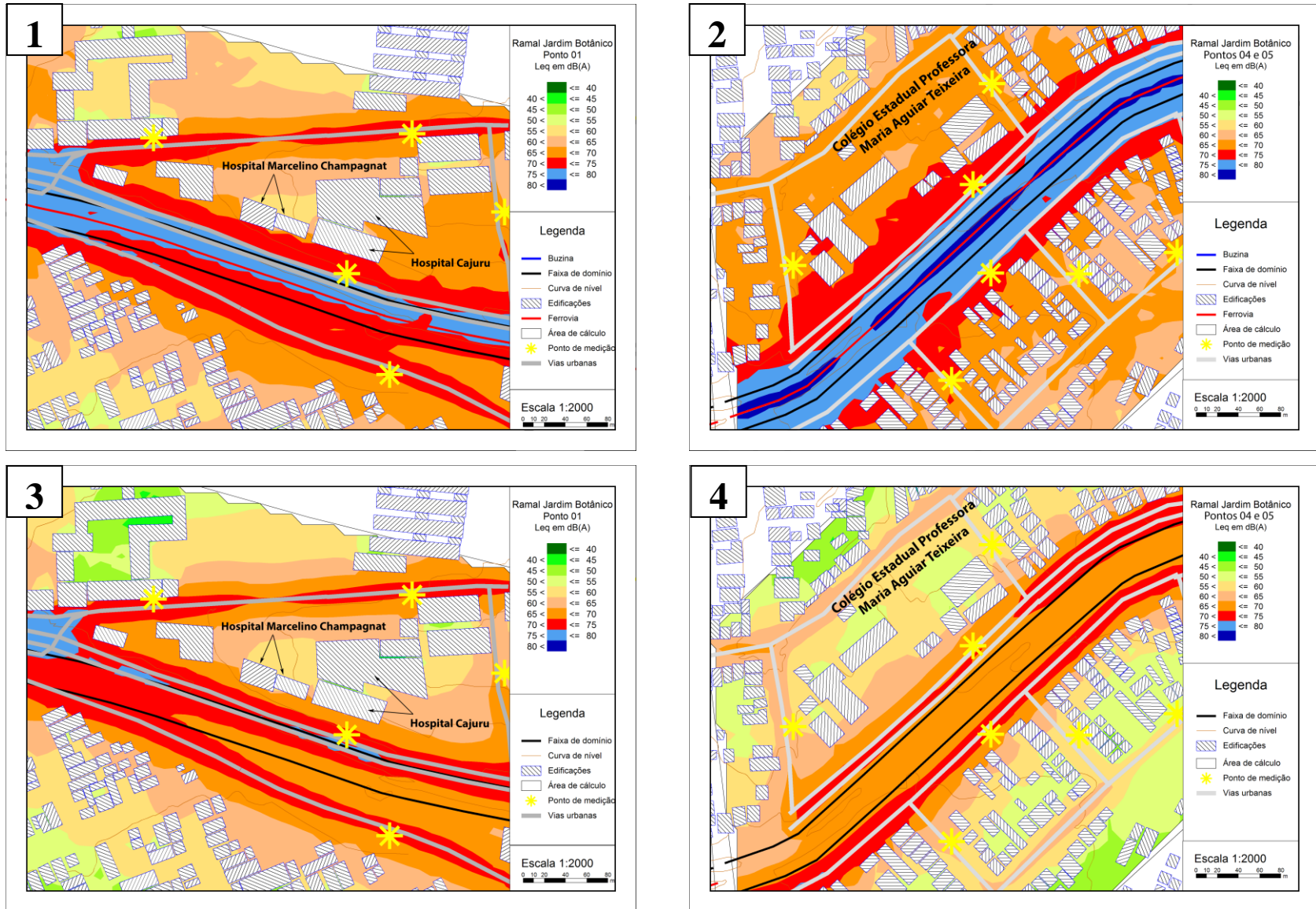


FIGURA 84 - MAPEAMENTO ACÚSTICO SEM O CONTO RNO FERROVIÁRIO (1 E 2) E COM O CONTO RNO FERROVIÁRIO (3 E 4)

Os mapeamentos acústicos representam os níveis sonoros imitados caso um contorno ferroviário entrasse em vigor.

O mapeamento acústico do Ponto 01, onde se encontram os hospitais, demonstra que caso o trem não trafegasse na região, os níveis sonoros nas proximidades dos hospitais diminuiriam de 65-75 dB(A) para 60-70 dB(A), acarretando em uma diminuição na faixa de 5 dB(A). A diminuição dos níveis sonoros nesta região não ocorreu de forma mais expressiva, pois a região do Ponto 01 está localizada próxima à região central de Curitiba, por conseguinte, as ruas no entorno dos hospitais possuem um fluxo elevado de veículos.

O mapeamento acústico dos Pontos 04 e 05, onde se encontra o colégio, demonstra que caso o trem não trafegasse na região, os níveis sonoros nas proximidades do colégio diminuiriam de 65-75 dB(A) para 50-70 dB(A), acarretando em uma diminuição de até 20 dB(A). A diminuição dos níveis sonoros nesta região foi mais expressiva do que na região dos hospitais. Isto se dá ao fato da região, dos Pontos 04 e 05, ser mais afastada da região central, por conseguinte, com ruas de menor fluxo nos entornos do ponto sensível.

Em seguida, foram realizados mapeamentos acústicos nas fachadas dos Hospitais Cajuru e Marcelino Champagnat [Figura 85] e do Colégio Estadual Maria Aguiar Teixeira [Figura 86]. Estes locais são considerados zonas de silêncio e medidas devem ser tomadas para que os níveis sonoros nestas localidades estejam em conformidade com a legislação.

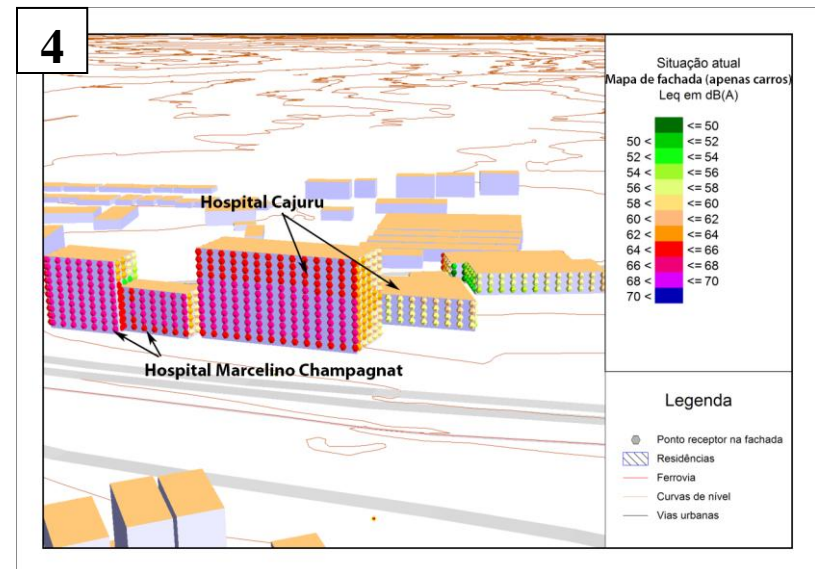
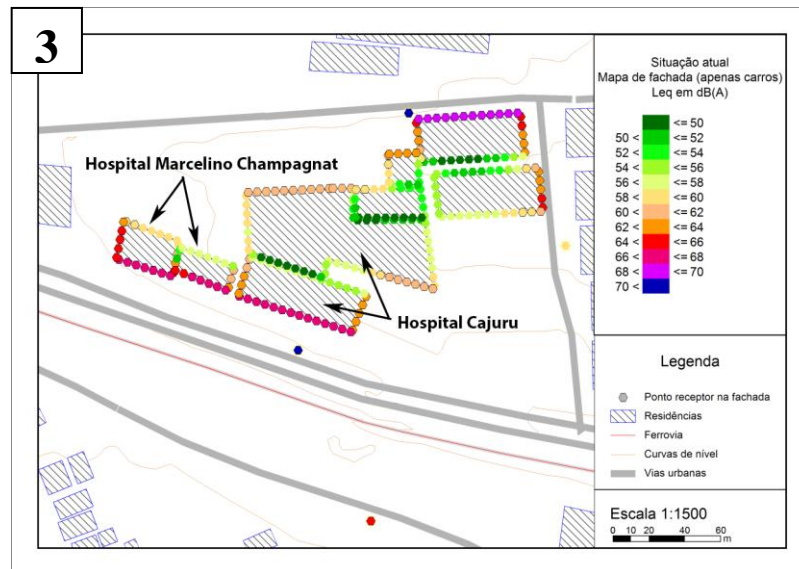
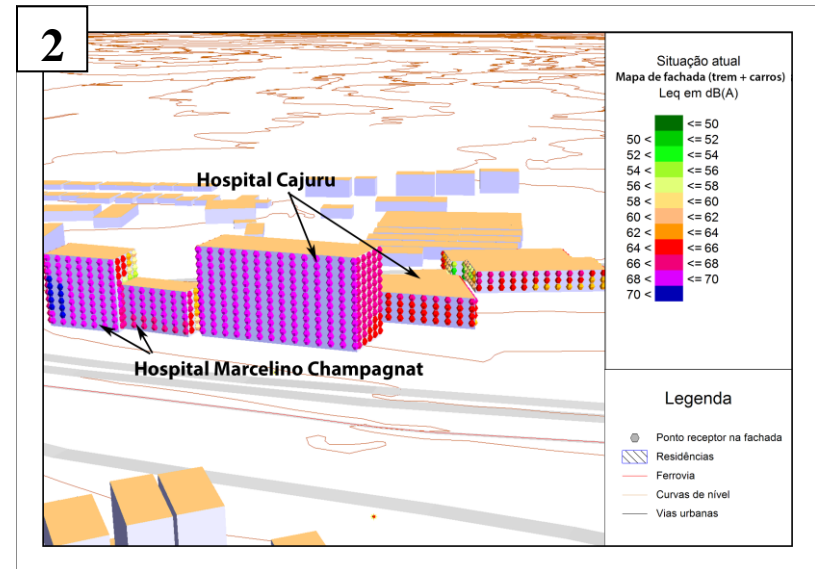
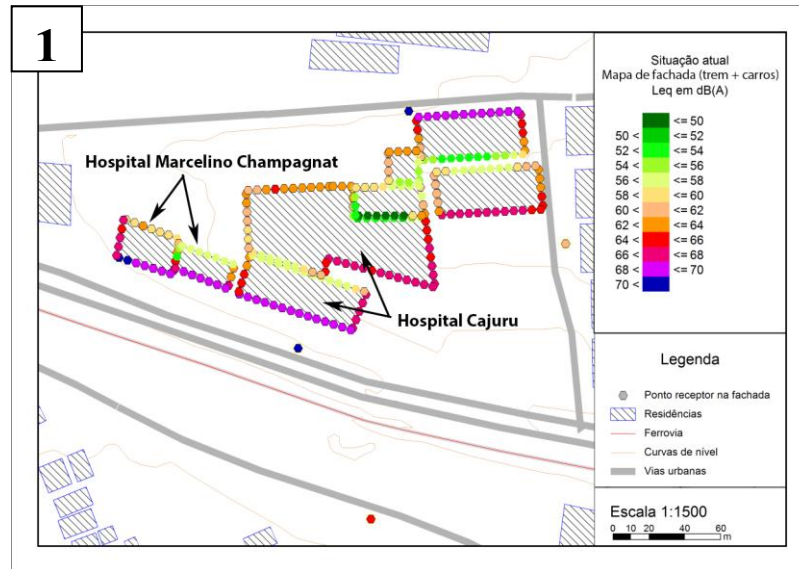


FIGURA 85 – MAPEAMENTO ACÚSTICO DE FACHADA DO HOSPITAL CAJURU E MARCELINO CHAMPAGNAT – CENÁRIO SEM O CONTO RNO FERROVIÁRIO (1 E 2) E CENÁRIO COM O CONTO RNO FERROVIÁRIO (3 E 4)

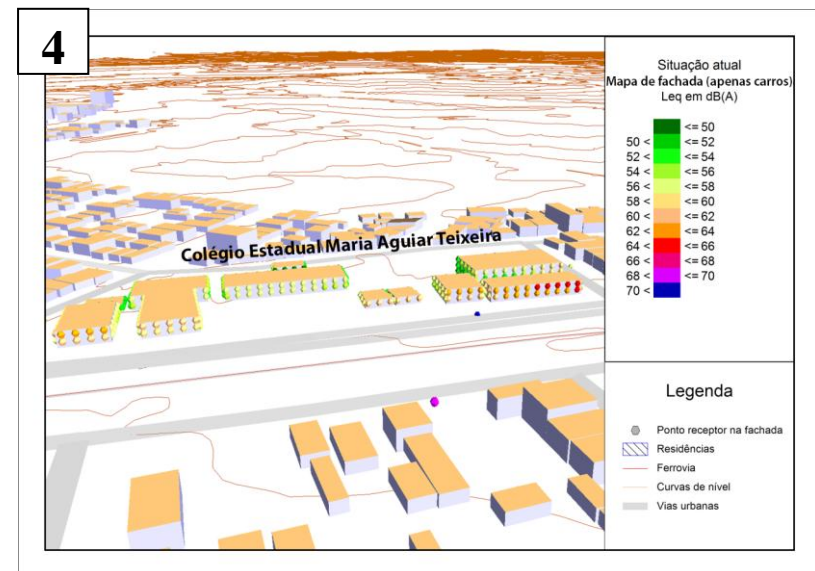
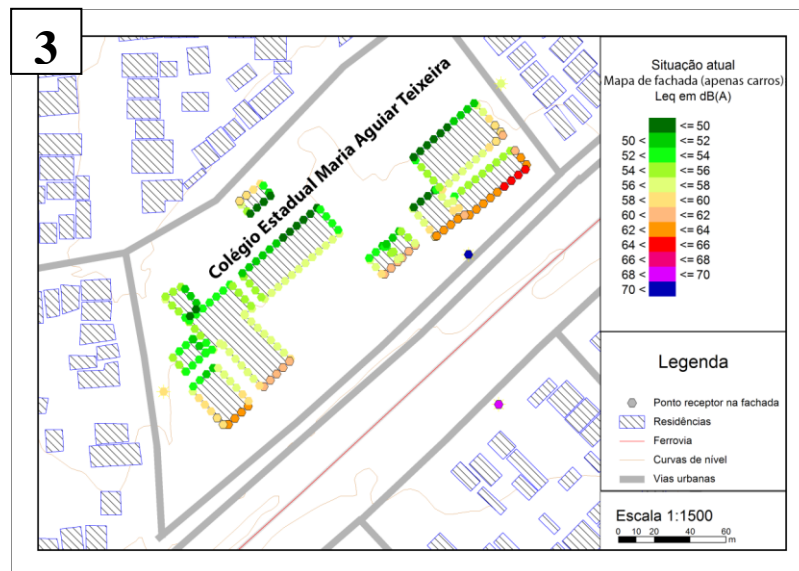
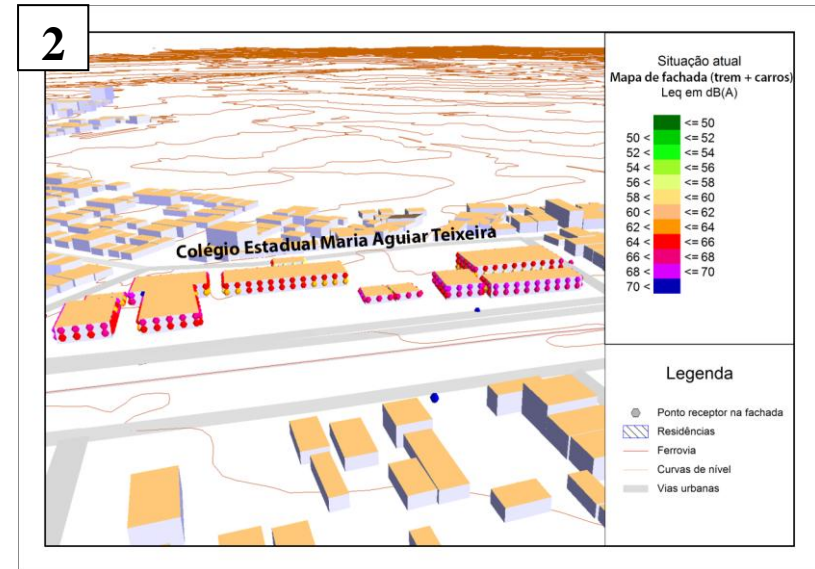


FIGURA 86 - MAPEAMENTO ACÚSTICO DE FACHADA DO COLÉGIO ESTADUAL MARIA AGUIAR TEIXEIRA – CENÁRIO SEM O CONTORNO FERROVIÁRIO (1 E 2) E CENÁRIO COM O CONTORNO FERROVIÁRIO (3 E 4)

Dos mapeamentos de fachada dos Hospitais Cajuru e Marcelino Champagnat e Colégio Estadual Maria Aguiar Teixeira, foram obtidos os seguintes resultados [Tabela 20].

TABELA 20 - NÍVEIS SONOROS NAS FACHADAS – PREVISÃO 3

	L_{eq} – Sem o contorno ferroviário	L_{eq} – Com o contorno ferroviário	Diminuição dos níveis sonoros
Hospital Marcelino Champagnat	68 dB(A) – 70 dB(A)	64 dB(A) – 68 dB(A)	Até 4 dB(A)
Hospital Cajuru	64 dB(A) – 70 dB(A)	60 dB(A) – 68 dB(A)	Até 6 dB(A)
Colégio Estadual Maria Aguiar Teixeira	66 dB(A) – 70 dB(A)	54 dB(A) – 66 dB(A)	Até 12 dB(A)

Nas fachadas dos hospitais, os níveis sonoros diminuem em até 6 dB(A) com a retirada do trem do Ramal Jardim Botânico. Como citado anteriormente, a diminuição dos níveis sonoros não foi maior devido ao grande fluxo de veículos leves, ônibus, ônibus articulados e caminhões nas proximidades dos hospitais.

O colégio Estadual Maria Aguiar Teixeira se encontra entre os pontos 04 e 05. A diminuição dos níveis sonoros na fachada do colégio, com a retirada do trem, chega a 12 dB(A), pois o ponto sensível encontra-se em uma região de caráter residencial e as vias no entorno do colégio, exceto a Avenida Affonso Camargo, possuem um pequeno fluxo de veículos.

6.3.4 DISCUSSÃO DOS CENÁRIOS

Após a avaliação de cada uma das medidas em separado, uma avaliação global do problema, comparando as medidas, deve ser realizada [Tabela 21].

TABELA 21 - AVALIAÇÃO GLOBAL DOS NÍVEIS SONOROS EM FUNÇÃO DA MEDIDA ADOTADA

Diminuição dos níveis sonoros				
	Visão global	Hospital Marcelino Champagnat	Hospital Cajuru	Colégio Estadual Maria Aguiar Teixeira
Previsão 1 - Sem o acionamento da buzina	10 – 30 dB(A)	Até 4 dB(A)	Até 6 dB(A)	Até 6 dB(A)
Previsão 2 - Com barreira acústica	até 10 dB(A)	Até 2 dB(A)	Até 2 dB(A)	Até 8 dB(A)
Previsão 3 - Com o contorno ferroviário	5 – 20 dB(A)	Até 4 dB(A)	Até 6 dB(A)	Até 12 dB(A)

Os resultados dos mapeamentos das previsões 1, 2 e 3 e a tabela 21 fornecem informações de extrema importância para a avaliação dos impactos ambientais sonoros, sendo destacadas:

- A Previsão 1, medida de não acionamento da buzina do trem antes das passagens de nível, ocasiona uma grande diminuição dos níveis sonoros (10 a 30 dB(A)), principalmente nas proximidades das passagens de nível. Como os hospitais e o colégio se encontram mais afastados das passagens de nível, a diminuição não é tão elevada nas fachadas dos pontos sensíveis;
- A Previsão 2, medida que institui a construção de barreiras acústicas, ocasiona uma pequena diminuição dos níveis sonoros nas proximidades dos hospitais (até 2 dB(A)). Já nas fachadas do colégio, a diminuição provocada pela inserção da barreira acústica chegou até 8 dB(A).
- A Previsão 3, ocasiona uma diminuição dos níveis sonoros de até 20 dB(A). Nas fachadas dos hospitais a diminuição foi de apenas 4 a 6 dB(A), devido a presença de ruas com grande fluxo de veículos no entorno do local em estudo. Já nas fachadas do colégio, a diminuição provocada pela não circulação do trem na região chegou até 12 dB(A).

A partir destes resultados, as medidas que ocasionam a maior diminuição dos níveis sonoros, de forma global, são as medidas 1, 3 e 2 respectivamente. Caso sejam priorizados os pontos sensíveis, a diminuição dos níveis sonoros para os pontos sensíveis em função da medida de controle utilizada é apresentada na figura 87.

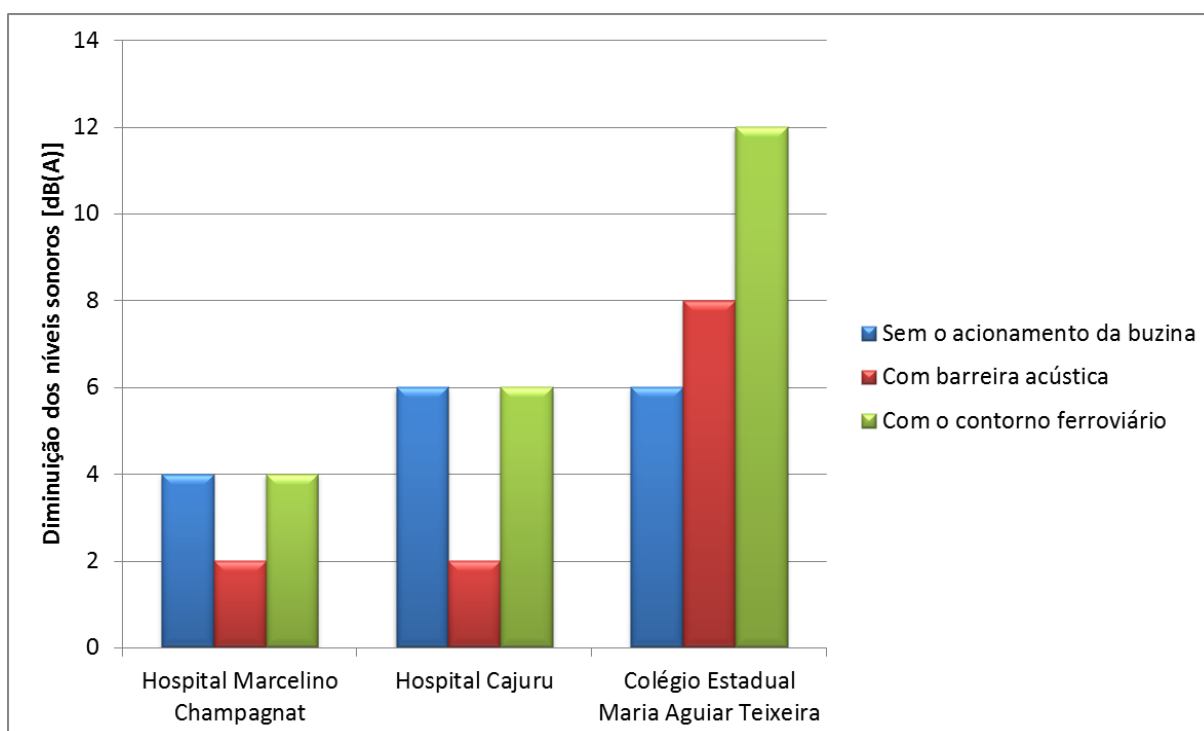


FIGURA 87 - DIMINUIÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS PARA OS PONTOS SENSÍVEIS EM FUNÇÃO DA MEDIDA DE CONTROLE UTILIZADA

A figura 87 mostra que para ambos os hospitais, o não acionamento da buzina e o contorno ferroviário se mostram as medidas mais eficientes (com diminuição de 4 a 6 dB(A)). A inserção de barreiras acústicas ocasiona uma diminuição de apenas 2 dB(A).

No Colégio Estadual Maria Aguiar Teixeira a previsão das medidas de controle e mitigação de ruído ocasionaram sempre uma diminuição maior do que 6 dB(A). A medida de retirada do trem, com o contorno ferroviário, se mostrou a mais eficiente e o não acionamento da buzina a menos eficiente.

Como citado no item 6.3.3, o Colégio Estadual Maria Aguiar Teixeira encontra-se mais afastado da região central, e as vias no entorno do colégio, exceto a Avenida Affonso Camargo, possuem um pequeno fluxo de veículos. Por este motivo a retirada do trem, principal fonte de poluição sonora no local, é uma medida que acarreta em uma grande diminuição dos níveis sonoros.

Sabendo da diminuição provocada por cada medida e de que o nível sonoro permitido pela legislação municipal 10.625 para zonas sensíveis é de 55 dB(A), para o período diurno, pode-se agora verificar se os níveis sonoros estão em conformidade com a legislação [Tabela 22].

TABELA 22 - NÍVEIS SONOROS ANTES E APÓS A UTILIZAÇÃO DA MEDIDA DE CONTROLE DE RUÍDO

	L_{eq} – Hospital Marcelino Champagnat	L_{eq} – Hospital Cajuru	L_{eq} – Colégio Estadual Maria Aguiar Teixeira
Cenário atual	68 dB(A) – 70 dB(A)	64 dB(A) – 70 dB(A)	66 dB(A) – 70 dB(A)
Previsão 1 - Sem o acionamento da buzina	66 dB(A) – 68 dB(A)	60 dB(A) – 68 dB(A)	64 dB(A) – 68 dB(A)
Previsão 2 - Com barreira acústica	66 dB(A) – 70 dB(A)	64 dB(A) – 68 dB(A)	58 dB(A) – 68 dB(A)
Previsão 3 - Com o contorno ferroviário	64 dB(A) – 68 dB(A)	60 dB(A) – 68 dB(A)	54 dB(A) – 66 dB(A)

Os resultados obtidos da Tabela 22 demonstram que mesmo com a aplicação de apenas uma das medidas de controle de ruído, nos locais em estudo, os níveis sonoros ainda estão acima dos valores permitidos pela legislação municipal 10.625/02.

7. CONCLUSÕES

A realização deste estudo traz uma contribuição para o conhecimento do problema do ruído gerado pelo tráfego ferroviário e seu impacto ambiental.

Com os grandes investimentos programados para os próximos anos no modal ferroviário (mais de 150 bilhões de reais até 2023) e a pequena quantidade de estudos a cerca do ruído ferroviário no Brasil, o conteúdo apresentado, neste estudo, tem aplicação para profissionais de diversas áreas, como: transportes, meio ambiente, planejamento urbano, construção civil, entre outros.

Como este tipo de estudo, até o momento, é raro em nosso país, as discussões, resultados e técnicas de avaliação da poluição sonora, aqui apresentadas, poderão servir de base para outras cidades brasileiras.

A avaliação da poluição sonora gerada pelo tráfego ferroviário na cidade de Curitiba tende a ser um precursor na avaliação do ruído ferroviário no Brasil, e por este motivo, foi detalhadamente avaliada através de medições e mapeamento acústicos.

Segundo as medições, realizadas em ambos os ramais, todos os pontos da situação A - passagem do trem com acionamento da buzina - e da situação B - passagem do trem sem o acionamento da buzina - estão acima dos níveis sonoros permitidos pela legislação municipal 10.625/02. Isto significa que o tráfego de trens gera um impacto ambiental que resulta em níveis de poluição sonora inadequados às pessoas que vivem ou trabalham ao longo das vias férreas. Em poucos anos, com o aumento da construção de prédios próximos aos ramais ferroviários, o número de pessoas diretamente afetadas pelo ruído ferroviário será ainda maior.

Pelos mapas de ruído, observou-se que as regiões próximas às passagens de nível são as mais impactadas, pois os níveis de pressão sonora chegam a mais de 110 dB(A). Isto ocorre devido ao acionamento da buzina do trem antes dos cruzamentos da via férrea com as vias urbanas.

Além de demonstrar as áreas mais impactadas, os mapeamentos de ruído proporcionam mais informações do que apenas a representação gráfica dos níveis sonoros, sendo elas: 1) Fornecer informações sobre o ruído ferroviário ao público em geral e aos responsáveis sobre a avaliação e gestão do ruído ambiental; 2) Estabelecer objetivos para o controle de ruído e 3) Desenvolver planos de redução dos níveis sonoros e comparar resultados de diferentes cenários.

Tendo-se conhecimento dos elevados níveis sonoros, através das medições e mapeamentos acústicos, fica visível a necessidade da tomada de medidas para reduzir os impactos ambientais sonoros provocados pelo modal ferroviário. Partindo deste fato, 3 possíveis alternativas para diminuição dos níveis sonoros foram simuladas: 1) Previsão 1 – Não acionamento da buzina do trem nas passagens de nível; 2) Previsão 2 – Construção de barreiras acústicas e 3) Previsão 3 – Criação do contorno ferroviário. A aplicação das medidas mitigatórias foi simulada para duas áreas sensíveis – Hospital e Escola.

As simulações, via mapeamento de ruído, mostram que nas fachadas dos pontos sensíveis as medidas de mitigação geram uma redução dos níveis sonoros entre 2 a 12 dB(A).

Os resultados das simulações também demonstram que a aplicação de apenas uma das medidas de controle de ruído, nos locais em estudo, não é suficiente para reduzir os níveis sonoros para os limites estabelecidos pela legislação municipal. A partir disto, são sugeridas 3 possíveis opções para diminuição dos níveis sonoros:

1. Tomada de mais de uma medida de controle em conjunto – Como a tomada de apenas uma medida não resultou em uma diminuição dos níveis sonoros até o limite estabelecido, deve ser avaliada a tomada de 2 medidas em conjunto para verificar se os níveis sonoros estariam em conformidade com a legislação;
2. O isolamento acústico das fachadas dos pontos sensíveis – O isolamento acústico pode ser realizado através da instalação de vidros duplos nas fachadas desejadas. Segundo a NBR 15575-4, o valor mínimo permissível para o isolamento acústico de fachada, em regiões sujeitas a ruído intenso de meios de transporte, deve ser de pelo menos 30 dB(A) (ABNT, 2012);
3. Políticas públicas mais agressivas – O uso de políticas públicas mais agressivas, segundo Prascevic & Cvetkovic (2006), se dá por 3 medidas principais a serem adotadas:
 - O princípio da precaução - Em todos os casos, o ruído deve ser reduzido ao nível mais baixo possível. Onde há uma razoável possibilidade de que a saúde pública vá ser danificada, devem ser tomadas medidas para proteger a saúde pública, sem esperar por provas científicas;
 - O princípio do poluidor-pagador - Os custos totais associados com a poluição sonora (incluindo monitoramento, gerenciamento, os níveis de

redução e de supervisão) devem ser cumpridos pelos responsáveis pela fonte de ruído.

- O princípio da prevenção – Ações devem ser tomadas sempre que possível para reduzir o ruído na fonte. O planejamento urbano e leis de uso do solo devem ser guiados por uma avaliação dos impactos ambientais.

Através de todas essas análises percebe-se que a melhoria em relação à poluição sonora está ligada diretamente a questões de planejamento e melhoria de infraestrutura. É necessária a parceria entre áreas governamentais de planejamento, desenvolvimento urbano, transportes, meio ambiente, educação e a comunidade científica para minimizar os impactos ambientais sonoros ocasionados por este importante meio de transporte e por consequência melhorar a qualidade de vida da população local.

Quando necessária uma tomada de decisão preventiva ou mitigadora, o estudo mostra que uma avaliação detalhada do local – através de medições sonoras e simulações de cenários acústicos através de mapas de ruído – é fundamental, pois a efetividade das medidas varia de local para local.

7.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ao longo da pesquisa sobre o ruído ferroviário, muitos tópicos e itens foram questionados. Como o assunto é pouco estudado no Brasil, e este estudo tende a ser um precursor na avaliação do ruído ferroviário no Brasil, estes questionamentos entram como trabalhos sugeridos pelo autor, que são:

- Aumento da extensão do modelo para um universo maior, por exemplo, a comparação do ruído ferroviário em todas as linhas férreas do estado do Paraná. Isto seria de grande valia, pois o Estado do Paraná é o quarto Estado brasileiro com maior extensão da malha ferroviária.
- Avaliação subjetiva do ruído ferroviário na cidade de Curitiba – A avaliação via questionários ou entrevistas, juntamente com a análise objetiva, tem grande importância para uma análise de impactos ambientais. O Laboratório de Acústica Ambiental Industrial e Conforto Acústico (LAAICA) da UFPR já realizou um trabalho nesta área, através da aplicação de 130 questionários, com intuito de apresentar os principais problemas que o ruído ferroviário ocasiona.

- Avaliação do ruído ferroviário no período noturno – A mudança do período de avaliação para o período noturno acarreta em uma grande mudança da região em estudo – principalmente na diminuição do fluxo de veículos leves (motos e carros) e pesados (ônibus e caminhões). Para uma avaliação completa dos impactos ambientais provocados pelo ruído ferroviário, a escolha do período noturno se torna um grande diferencial.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT) – Transporte de Cargas – Transporte Ferroviário. Disponível em: <<http://www.antt.gov.br/carga/ferroviario/ferroviario.asp>>. Acesso em 15 de novembro de 2011
- ALARCÃO, D.; COELHO, J. L. **Modelação de ruído de tráfego ferroviário**: Universidade de Coimbra, Portugal, 2008.
- ANDERSSON, H.; JONSSON, L.; ÖGREN, M. "Property Prices and Exposure to Multiple Noise Sources: Hedonic Regression with Road and Railway Noise," *Environmental & Resource Economics*, European Association of Environmental and Resource Economists, vol. 45(1), pages 73-89, January 2010.
- ASENSIO, C.; RECUERO, M.; RUIZ, M. **Noise mapping**, *Applied Acoustics*, Volume 72, Issue 8, July 2011, Pages 477-478.
- ASHDOWN – **Review of AEL train noise prediction methodology**, Ashdown environmental limited and Union railways limited, East Sussex, U.K., 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS [ABNT]. **NBR 10.151**: Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade. Rio de Janeiro; 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS [ABNT]. **NBR 15.575-4**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro; 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 13067**: *Carro Metropolitano - Determinação dos Níveis de Ruído: Método de Ensaio*. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 13068**: *Ruídos Interno e Externo em Carro Metropolitano: Procedimento*. Rio de Janeiro, 1997.
- BABISCH, W. **The noise/stress concept, risk assessment and research needs**. *Noise Health*, 4(16), 1–11, 2002.
- BARRON, R. F. **Industrial Noise Control and Acoustics**, New York: Marcel Dekker Inc., 2003, pp 34-35.
- BELLINGER, W. K. **The economic valuation of train horn noise: A US case Study**. *Transportation Research Part D*, 2006.
- BELOJEVIC, G.; JACOVLEVIC, B.; ALESKSC, O. **Subjective Reaction for Traffic Noise with Regard to some Personality Traits**. *Environmental International*, Yugoslavia, v. 23, n. 2, p. 221-226, 1997.
- BERGLUND, B.; LINDVALL, T.; SCHWELA, D. H. **Guidelines for community noise**. World Health Organization: Protection of the Human Environment, 1999.
- BERTOLI, S. R.; DE PAIVA, C. E. L. **Exposição não ocupacional a ruído de passageiros de trens metropolitanos da grande São Paulo**. XIX Meeting of the Brazilian Society of Acoustics, 2000.

BIES, D. A.; HANSEN, C. H. **Engineering Noise Control: Theory and Practice**. 2 ed. New York: Spon Press – Taylor & Francis Group 2002.

BOFF, K.R.; KAUFMAN, L.; THOMAS, J. P. *Handbook of Perception and Human Performance Vol. 1: Sensory Processes and Perception*. New York: John Wiley and Sons, 1986.

BRASIL. **Lei Federal nº 10.932, de 03 de agosto de 2004**. Altera o art. 4º da Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, que "dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências", 2004.

BRASIL. **Lei Federal nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979**. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências, 1979.

BRONS, M. **Railroad Noise: Economic Valuation and Policy**. *Transportation Research: Part D: Transport and Environment*, 8(3), 169–184, 2003.

BRONZATTI, D. G. **Avaliação do ruído causado pelo transporte ferroviário na cidade de Ijuí/RS**, Ijuí: Trabalho de graduação em Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2009.

BRÜEL & KJÆR 2011. Product data - **Predictor™ – Lima™ Software Suite — Type 7810 version 8.1 The Intuitive Solution for Environmental Noise Calculation and Mapping**. Acessado em 2 de março de 2012. Disponível em <<http://www.bkhome.com/doc/bp1602.pdf>>.

BUNN, F. **Impacto ambiental sonoro no trecho Sul da Linha Verde na cidade de Curitiba**, Curitiba: Trabalho de graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Paraná, 2010.

BUNN, F.; FIEDLER, P.E.K.; ZANNIN, P.H.T. **Avaliação da poluição sonora ambiental – normas e leis usadas no Brasil**. Revista da Sociedade Brasileira de Acústica – SOBRAC, Rio de Janeiro, n.41, p. 47-54, 2009.

CALIXTO, A. **O Ruído gerado pelo Tráfego de Veículos em “Rodovias-Grandes Avenidas”, situadas dentro do perímetro urbano de Curitiba, analisados sobre parâmetros acústicos objetivos e seu impacto ambiental**, Curitiba: Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Paraná, 2002

CÂMARA MUNICIPAL DE CURITIBA. **Notícias do Legislativo 04/06/2010**: Disponível em <www.cmc.pr.gov.br/ass_det.php?not=15327>. Acesso em 07 de dezembro de 2011.

CÂMARA MUNICIPAL DE PALMELA. **Mapa de Ruído do Município de Palmela**. 2008. Acesso em 12 de dezembro de 2012. Disponível em: http://www.cm-palmela.pt/NR/rdonlyres/8B2A29C1-1C2D-472D-A7BB-6863D86A4D79/74217/07_393_MRPM02.pdf.

CAMINHO E AVENTURA, 2010. Disponível em <<http://trilhasdamontanha.blogspot.com/2010/10/fotos-do-inicio-da-construcao-da.html>>. Acesso em 12 de novembro de 2011.

CARRIEL, P. **PASSAGENS DE NÍVEL – VANDALISMO AUMENTA RISCOS**. VIDA E CIDADANIA – GAZETA DO POVO, CURITIBA, 2009. Disponível em <<http://www.gazetadopovo.com.br/vidaecidadania/conteudo.phtml?tl=1&id=866229&tit=Vandalismo-aumenta-riscos>>. Acesso em 07 de dezembro de 2011.

CARTER, N.L. **Transportation noise, sleep, and possible after-effects**. Environ Int 1996;22 (1):105–16.

CER & UIC – Community of European Railway and Infrastructure Companies and International Union of Railways. **RAIL - transport and environment: facts and figures**. 2008. Acessado em 18 de março de 2012. Disponível em: http://www.etc-corporate.org/resources/uploads/railways&environment_facts&figures.pdf.

CIA - Central Intelligence Agency, 2011. **The World Factbook 2011**. Washington, DC. Disponível em: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2121rank.html?countryName=Brazil&countryCode=br®ionCode=soa&rank=10#br>.> Acesso em 30 de maio de 2012.

CIA AMBIENTAL. **Estudo Ambiental – Duplicação da Ferrovia Ferrobar entre os Pátios de Itirapina e Evangelista de Souza, e entre Paratinga e Perequê** - Volume 1, p. 269-274, 2010

CODE OF FEDERAL REGULATIONS (CFR) - §229.129 **Locomotive horn**. Title 49 Transportation – Volume 4 Chapter 2. 200-299 Federal Railroad Administration. 229 RAILROAD LOCOMOTIVE SAFETY STANDARDS. Department of Transportation, 2006. Disponível em: <http://ecfr.gpoaccess.gov/cgi/t/text/text-idx?c=ecfr&sid=c9f349df8d07d9475c6ccee337b32d0b&rgn=div8&view=text&node=49:4.1.1.1.23.3.30.47&idno=49> >. Acessado em 04 de abril de 2012.

COM - Commission of the European Communities. **Communication from the commission to the European Parliament and the Council – Rail noise abatement measures addressing the existing fleet**. Brussels 2008

CORDEIRO, T. **E se o Brasil tivesse uma malha ferroviária decente?** SUPER INTERESSANTE – Edição 244 de outubro de 2007. Acesso em 14 de novembro de 2011. Disponível em: <http://super.abril.com.br/esporte/brasil-tivesse-malha-ferroviaria-decente-447234.shtml>

DANIELS, B. C.; MURRAY, P., **Welfare effects of increased train noise: A comparison of the costs and benefits of train whistle use at highway–railway crossings**, Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 10, Issue 5, September 2005, Pages 357-364;

DEPARTMENT OF ENVIRONMENT AND CLIMATE CHANGE NSW. *Interim Guideline for the Assessment of Noise from Rail Infrastructure Projects*. 2007

DEPARTMENT OF PLANNING NSW 2008, **Development near rail corridors and busy roads – interim guideline**. Acesso em 17 de novembro de 2011. Disponível em: www.planning.nsw.gov.au/planningsystem/pdf/guide_infra_devtrailroadcorridors_interim.pdf.

EEA 2001. **TERM 2001. Indicators tracking transport and environment integration in the European Union**. European Environment Agency, Copenhagen.

EEA 2010. **TERM 2009. Indicators tracking transport and environment integration in the European Union**. European Environment Agency, Copenhagen

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - IRELAND EPA. **Guidance Note for Strategic Noise Mapping for the Environmental Noise Regulations 2006** version 2, 2011.

ESTAÇÕES FERROVIÁRIAS DO BRASIL. **RVPSC - Ramal de Rio Branco do Sul**. Disponível em <http://www.estacoesferroviarias.com.br/pr-riobranco/ramal_riobranco.htm>. Acesso em 22 de outubro de 2012.

EUROPEAN COMMISSION WORKING GROUP ASSESSMENT OF EXPOSURE TO NOISE (WG-AEN). **Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure**, Version 2, 2006.

EUROPEAN PARLIAMENT'S COMMITTEE ON TRANSPORT AND TOURISM. **Reducing railway noise pollution - Study**. Brussels, European Union, 2012. Disponível em: <<http://www.europarl.europa.eu/committees/fr/studiesdownload.html?languageDocument=EN&file=72912>>. Acesso em 23 de outubro de 2012.

EUROPEAN UNION. **Directive 2002/49/EC** relating to the Assessment and Management of Environmental Noise. Official Journal of the European Communities; 2002. No. L 189.

EVEREST, F. A.. **The Master Handbook of Acoustics**, Volume 5th edition. McGraw-Hill/TAB Electronics, 2009

FALCÃO, R. **Sinalização e segurança no transporte ferroviário “De dentro das Cidades” – A experiência de Curitiba**. 2º Seminário Sinalização e Segurança no Transporte Ferroviário, 2007. Disponível em: <http://www.revistaferroviaria.com.br/sstf_2007/palestras/trem.pdf>. Acesso em 15 de junho de 2012.

FHWA, *et. al.*, **FHWA Highway Noise Barrier Design Handbook**. [Report] Washington DC: Federal Highway Administration, 2000.

FIDELL, S; BARBER, D. S.; SCHULTZ, T. J. **Updating a dosage-effect relationship for the prevalence of annoyance due to general transportation noise**. J. Acoustical Society of America 89(1), 221-233, 1991.

FIEDLER, P. E. K.; BUNN, F.; ZANNIN, P. H.T. **Pre-environmental study for the implementation of a new road system - a case study in Curitiba, Brazil**. DAGA 2012 – Darmstadt.

FIELDS, J. M.; WALKER, J. G. **The response to railway noise in residential areas in Great Britain**. Journal of Sound and Vibration 85(2): 177-255, 1982.

FROST, J.; ZANNIN, P.H.T. **Avaliação da poluição sonora devido ao tráfego ferroviário em Curitiba**. EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (EVINCI) da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

GAN, W. Q.; MCLEAN, K.; BRAUER, M.; CHIARELLO, S. A.; DAVIES H. W., **Modeling population exposure to community noise and air pollution in a large metropolitan area**, Environmental Research, Volume 116, 2012.

GEIPOT 2000. Grupo Executivo de Integração da Política de Transportes. Disponível em <<http://www.geipot.gov.br/NovaWeb/IndexAnuario.htm>>. Acesso em 02 de novembro de 2011.

GERGES, S. N.Y. **Ruído: Fundamentos e Controle**, 2ª ed., Florianópolis, 2000.

GOELZER, B.; HANSEN, C. H.; SEHRNDT, G. A. **Occupational Exposure to Noise: Evaluation, Prevention and Control**. Dortmund: Federal Institute for Occupational Safety and Health, 2001.

- GRIFFITHS, I.D.; LANGDON, F.J., **Subjective response to road traffic noise**, Journal of Sound and Vibration, Volume 8, Issue 1, July 1968, Pages 16-32,
- GUEDES, I. C. M.; BERTOLI, S. R., ZANNIN, P. H. T. **Influence of urban shapes on environmental noise: A case study in Aracaju Brazil**. Science of the Total Environment, v. 412, p. 66-76, 2011.
- GUEDES, M.; LEITE, M. J., **Directrizes para Elaboração de Mapas de Ruído**. Instituto do Ambiente PT, 2007.
- GUIDE DU BRUIT – **Guide du Bruit des Transports Terrestres, Prevision des niveaux sonores**, Ministere de l'environnement et du cadre de vie et Ministere des transports Direction générale des transports intérieurs, Bagneux, France, 1980 (in French).
- HANSEN, C. **Noise control – from concept to application**. Taylor & Francis, New York, NY. pp 2.10. First edition, 2005.
- HANSON, C. E.; SAURENMAN, H. J.; TOWERS D. A. **Rail Transportation Noise and Vibration” in Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control**, edited by C. M. Harris, McGraw Hill Book Co., New York, NY. pp 5.1-5.21. Third edition, 1998.
- HANSON, C. E.; TOWERS D. A.; MEISTER, L. D. **Transit Noise and Vibration Impact Assessment U.S.** Department of Transportation Federal Transit Administration, 2006.
- HASSALL, J. R.; ZAVERI, K.; **Acoustic Noise Measurement**. 4 ed. Dinamarca: Brüel & Kjaer Magazine, 280 p., 1979.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010**. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 10 de agosto de 2012.
- IEC 61672-1. **Electroacoustics – Sound level meters – Part 1: Specifications**. 2002.
- INAV/GEOSISTEMAS SRL; Maplink/Tele atlas. Zona 22J. in Google Earth for Windows, versão 5.2. Acesso em 15 de setembro de 2012.
- IPPUC - INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA. Disponível em <<http://curitibaemdados.ippuc.org.br/>> Acesso em 10 de abril de 2012.
- ISO 9613-1. **Attenuation of sound during propagation outdoors – part 1: general method of calculation**. Genève: International Organisation for Standardization; 1996.
- ISO 9613-2. **Acoustics - attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: general method of calculation**; International Organisation for Standardization; 1996.
- JOHNSON, D.L.; MARSH, A.H.; HARRIS, C.M. **Acoustical Measurement Instruments in Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control**, edited by C. M. Harris, McGraw Hill Book Co., New York, NY. pp 5.1-5.21. Third edition, 1998.
- KANG, J. **Urban sound environment**. London: Taylor and Francis; 2007.
- KINSLER, L. E.; FREY, A.R.; COPPENS A.B.; SANDERS J.V. **Fundamentals of Acoustic**, 3ª ed., USA, 1982

- KO, J. H.; CHANG, S. I.; LEE, B. C. **Noise impact assessment by utilizing noise map and GIS: A case study in the city of Chungju, Republic of Korea.** *Applied Acoustics*, Volume 72, Issue 8, July 2011, Pages 544-550
- KOTZEN, B.; ENGLISH C. **Environmental noise barriers: A guide to their acoustic and visual design.** E & FN SPON, 1999
- KURZE, U. J., **Tools for measuring, predicting and reducing the environmental impact from railway noise and vibration,** *Journal of Sound and Vibration*, Volume 193, Issue 1, 30 May 1996, Pages 237-251
- LAW, C.; LEE, C.; LUI, A. S.; YEUNG, M. K.; LAM, K. **Advancement of three-dimensional noise mapping in Hong Kong,** *Applied Acoustics*, Volume 72, Issue 8, July 2011, Pages 534-543.
- LEE, S.; CHANG, S. I.; PARK, Y. **Utilizing noise mapping for environmental impact assessment in a downtown redevelopment area of Seoul, Korea.** *Applied Acoustic*, v.69, p. 704-714, 2008.
- LEITÓLES, F. **COLISÃO DE ÔNIBUS E TREM DEIXA VÁRIOS FERIDOS EM CURITIBA.** VIDA E CIDADANIA – GAZETA DO POVO, CURITIBA, 2011. Disponível em <<http://www.gazetadopovo.com.br/vidaecidadania/conteudo.phtml?id=1174613>>. Acesso em 22 de outubro de 2012.
- LICITRA, G.; MEMOLI, G. **Limits and advantages of good practice guide to noise mapping.** Forum Acusticum – Paris; 2008 [on CD].
- LOPES, J. M. **Trilhos de Curitiba não têm rumo.** Vida e Cidadania – Gazeta do Povo, Curitiba, 2009. Disponível em <<http://www.gazetadopovo.com.br/vidaecidadania/conteudo.phtml?id=923598>>. Acesso em 07 de julho de 2012.
- MASCHKE, C. **Preventive Medical Limits for Chronic Traffic Noise Exposure.** *Acoustic*, Berlim, v. 85, 448p., 1999.
- MEHRAVARAN, H.; ZABANI, S.; NABI, B. R.; GHOSI, R.; KESHAVARZISHIRAZ, H. **Noise pollution evaluation method for identification of the critical zones in Teheran.** *International Journal of Environmental Research*, 5: 233-240, 2011.
- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES E MINISTÉRIO DA DEFESA. **PNLT - Plano Nacional de Logística e Transportes.** Relatório Executivo, 2009.
- MITHRA-FER – **Logiciel Mithra-Fer version 2.1 Manuel technique,** Centre scientifique et technique du bâtiment, Grenoble, France, 1994 (in French).
- MÖSER, M. **Engineering Acoustics – Introduction to Noise Control,** 289p. 2004
- MULTER, J.; RAPOZA, A. S. **Field Evaluation of a Wayside Horn at a Highway-Railroad Grade Crossing.** U.S. Department of Transportation. Research and Special Programs Administration and Federal Railroad Administration, 1998.
- MURPHY, E., KING, E.A., **Strategic environmental noise mapping: Methodological issues concerning the implementation of the EU Environmental Noise Directive and their policy implications,** *Environment International*, Volume 36, Issue 3, April 2010, Pages 290-298.

NASSIRI, P.; ABBASPOUR, M.; MAHMOODI, M.; GIVARGIS, S. H., **A rail noise prediction model for the Tehran–Karaj commuter train**, *Applied Acoustics*, Volume 68, Issue 3, March 2007, Pages 326-333

NMT - **The Nordic prediction Method for Train noise (NMT) (Draft)**, *Report R790*, Kilde Akustikk a/s and The Nordic council of ministers, the traffic group (NTG), Voss, Denmark, 1995.

ÖAL 28 – **Schallabstrahlung und Schallausbreitung, ÖAL 28**, Österreichischer Arbeitsring für Lärmbekämpfung, Vienna, Austria, 1987 (in German).

OFFICE OF ENVIRONMENT AND HERITAGE AND STATE OF NSW. **Rail Infrastructure Noise Guideline**. Draft for Consultation, 2012. Disponível em: <http://www.environment.nsw.gov.au/resources/noise/20120057railnoisedrgl.pdf>.

ONAGA, M. **Buzinaço de trens na Rio +20**. Revista Exame, São Paulo. Disponível em: <http://exame.abril.com.br/blogs/primeiro-lugar/2012/03/27/buzinaco-de-trens-na-rio-20/>. Acesso em 20 de junho de 2012.

PARK, S.; PARK, C.; SONG, M.; OH, J.; PARK, I.; KANG, D.; LEE, J; **Analysis of Integrated Noise Maps for Road Traffic and Railway Noise**. Inter-noise 2008, 37th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, 2008.

PAZ, E. C. **Estudo de um modelo de avaliação e predição acústica para o ruído de tráfego**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, 2004.

PICANCO, M. **Programa prioritário**. 2º Seminário Sinalização e Segurança no Transporte Ferroviário, 2007. Disponível em: http://www.revistaferroviaria.com.br/sstf_2007/palestras/trem.pdf. Acesso em 15 de outubro de 2012.

PINTO, F.A.C.; MARDONES, M.D.M. **Noise mapping of densely populated neighborhoods – example of Copacabana Rio de Janeiro – Brazil** *Environ Monit Assess*, 155 (2009), pp. 309–318.

PORTAL DOMÍNIO PÚBLICO, 2008. Disponível em <http://www.dominiopublico.gov.br/download/imagem/fd000002.jpg>. Acesso em 12 de novembro de 2011.

PRASCEVIC, M.; CVETKOVIC, D. **Strategic directions in implementation of environmental noise directive in international and national legislation**. *Facta Universitatis*, Volume 4:21 – 34, 2006.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. **Lei nº 9800 de 03 de janeiro de 2000**. Dispõe sobre o Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo no Município de Curitiba e dá outras providências.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. **Lei Municipal 10.625 de 19 de dezembro de 2002**. Dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem estar e do sossego público e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado do Paraná*, 9 p. 2002.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. **Lei Municipal 10.625 de 19 de dezembro de 2002**. Dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem estar e do sossego público e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado do Paraná*, 9 p. 2002.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. **Plano Municipal de Mobilidade Urbana e Transporte Integrado de Curitiba – Anexo IV Diagnóstico transporte de cargas**, 2008.

RAPOZA, A. S.; FLEMING, G.G. **The Effect of Installation Location on Railroad Horn Sound Levels.** U.S. Department of Transportation, Federal Railroad Administration. Letter Report No. DTS-34-RR297-LR1. September 2002.

RAPOZA, A. S.; FLEMING, G.G. **Determination of a Sound Level for Railroad Horn Regulatory Compliance.** U.S. Department of Transportation, Federal Railroad Administration. Final Report October 2002

REDDEN, J. P., **Is train horn noise a problem in your town?** 2005. Disponível em <<http://www.hanson-inc.com/images/Vision/pdfs/Is-Train-Horn-Noise-a-Problem7-09.pdf>>. Acesso em 13 de novembro de 2011.

REDE FERROVIÁRIA NACIONAL - REFER. **Mapa Estratégico de Ruído das Grandes Infraestruturas de Transporte Ferroviário – Linha de Cascais.** Direcção de Ambiente, 2008.

REITER, M.; KOSTEK, B., **Comparing railway noise prediction results for passenger trains using various models.** Proceedings of Acoustics '08, the 2nd joint conference of the Acoustical Society of America (ASA) and the European Acoustics Association (EAA). Paris: Société Française d'Acoustique (SFA), Acoustical Society of America (ASA), European Acoustics Association (EAA), 2008.

ROLAND, M. M.; ZANNIN, P. H. T. **Avaliação do ruído ferroviário em Curitiba.** Proceedings do 13^o Evento de Iniciação Científica, Universidade Federal do Paraná, 2005.

ROOP, S. S., **A safety evaluation of the RCL automated horn system.** A Report from the Texas Transportation Institute, 2000.

ROSSING, T. D.; MOORE, F. R.; WHEELER, P. A. **The Science of Sound.** 2 ed. Los Angeles: Pearson Addison Wesley, 1990.

SCHALL 03 – **Richtlinie zur berechnung der schallimmissionen von schienenwegen, Schall 03/Akustik 03,** Deutsche Bundesbahn, Bundesbahn Zentralamt, München, Germany, 1990 (in German).

SCHULTZ, T. J. **Community Noise Rating.** 2 ed. New York: Elsevier Applied Science, 1972.

SCHWIETERMAN, J.P.; BADEN, B. **Alternatives to the whistle: The role of education and enforcement in promoting highway–rail grade crossing safety in metropolitan Chicago,** Chaddick Institute working paper 09-00, 2001.

SDG. Acesso em 3 de abril de 2012. Disponível em: <http://www.sdg.ie/f/fckeditor/Image/products/Calenberg/Cisilent-Rail-Noise-Control.jpg>.

SEMIBEL – **Semibel version 1, Schweizerisches emissions- und immissionsmodell für die berechnung von eisenbahnlärm,** Schriftenreihe Umweltschutz Nr.116, Bundesamtes für umwelt, walt und landschaft und Bundesamtes für Verkehr, Bern, Austria, 1990 (in German).

SENATSVORWALTUNG FÜR GESUNDHEIT, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ. **Noise reduction plan for Berlin - Action plan.** 2008. Acesso em 12 de dezembro de 2012. Disponível em: <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/laerm/laermminderungsplanung/download/laermaktionsplan/noise-reductionplan_berlin.pdf>

SFS – Portal de São Francisco do Sul. **Trem bate em caminhão que tentava atravessar linha férrea**, 2008. Disponível em <<http://www.sfs.com.br/index.cfm?go=jornal.integra&codNews=4443&codCategoria=28>>. Acesso em 22 de outubro de 2012.

SILVA, S. **União aprova projeto do “Plano Diretor Multimodal de Curitiba”**. Folha dos Editais. ANO XIX Nº 933 CURITIBA, 02 A 08 DE AGOSTO DE 2009. Disponível em <<http://informatur.com.br/folhadoseditais/folha933.pdf>>. Acesso em 28 de outubro de 2011.

SINAF - Sinalização de Ferrovias Ltda. **Cancela automática ferroviária**. Disponível em: http://www.sinaf.biz/wp-content/uploads/2011/12/sinaf_cancela_aar.pdf. Acesso em 20 de outubro de 2012.

SINGAL, S. P., **Noise Pollution and Control Strategy**, 323p. 2005

SORKIN, R.D. **Design of auditory and tactile displays**. *Handbook of Human Factors*. Ed. G. Salvendy. New York: John Wiley & Sons. 549-576, 1987.

SOUNDPLAN. **Manual 6.0**, Braunstein + Berndt GmbH/SoundPLAN International LLC, 2004.

SOUSA, C.M. de; CARDOSO M. R. A. **Urban noise in the City of Sao Paulo, Brazil: An important problem of public health**. Noise and Health, 2002.

SPPERT. **Transporte Ferroviário**. Disponível em: http://www.sppert.com.br/Artigos/Brasil/Paran%C3%A1/Urbanismo/Transporte/_Transporte_ferrovi%C3%A1rio/. Acesso em 25 de julho de 2012.

SRMII - **Reken- en meetvoorschrift railverkeerslawaa (Draft)**, Ministerie volkshuisvesting, ruimtelijke ordening en milieubeheer, Directie Geluid en Verkeer, The Hague, Netherlands, 1996 (in Dutch).

STAIANO ENGINEERING. Acesso em 3 de abril de 2012. Disponível em: <http://staianoengineering.com/images/450_light_rail_train_with_noise_barrier.JPG>.

SZWARC, M.; KOSTEK, B.; KOTUS, J.; SZCZODRAK, M.; CZYŻEWSKI, A. **Problems of railway noise-a case study**. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics: JOSE, 2011.

T&E – TRANSPORT & ENVIRONMENT. **Can you hear us? Why it is finally time for EU to tackle the problem of noise from road and rail traffic**. Technical report, European Federation for Transport and Environment, 2008.

THEEBE, M. A.J., **Planes, Trains, and Automobiles: The Impact of Traffic Noise on House Prices**. Journal of Real Estate Finance and Economics, Vol. 28, No. 2, 2004.

TSAI, K.; LIN, M., CHEN, Y., **Noise mapping in urban environments: A Taiwan study**, Applied Acoustics, Volume 70, Issue 7, July 2009, Pages 964-972

UIC – International Union of Railways. **Railway noise in Europe. A 2010 report in the state of the art**. 2010

US EPA - Environmental Protection Agency. Acesso em 3 de abril de 2012. Disponível em: <<http://www.epa.gov/air/noise.html>>.

US EPA (United States Environmental Protection Agency). **Noise effects handbook: a desk reference to health and welfare effects of noise**. US Government Document; 1981 (EPA 550/9-82-106). Disponível em <<http://www.nonoise.org/epa/Roll7/roll7doc27.pdf>>. Acessado dia 10 de setembro de 2012.

VALLE, F. do **Avaliação da acústica ambiental na cidade de Curitiba – Estudo de caso – Rua marechal Deodoro, Rua Bispo Dom José, Avenida do Batel, Rua Benjamin Lins e Rua Dr. Pedrosa**, Curitiba: Trabalho de graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Paraná, 2012.

VAN LEEUWEN, H.J.A., **Railway noise prediction models: A comparison**. Journal of Sound and Vibration, Volume 231, Issue 3, 30 March 2000, Pages 975-987,

VERBAND DER AUTOMOBILINDUSTRIE E. V. - **VDA Urban Traffic and Noise**. 1 ed. Frankfurt: VDA, 1978

WANG, B.; KANG, J., **Effects of urban morphology on the traffic noise distribution through noise mapping: A comparative study between UK and China**, Applied Acoustics, Volume 72, Issue 8, July 2011, Pages 556-568

WATSON, R., SOHAIL, M. **Reducing railway noise levels - the impact of forthcoming European legislation**. IN: Railway Technology Conference at Railtex, National Exhibition Centre, Birmingham, 21-23 Nov, 2000.

WHO – World Health Organization., **Burden of disease from environmental noise - Quantification of healthy life years lost in Europe**, European Centre for Environment and Health 2011. Disponível em: http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0008/136466/e94888.pdf.

WHO (2001) **Occupational Exposure to Noise: Evaluation, Prevention and Control**, edited by B Goelzer, CH Hansen and GA Sehrndt, published by the Federal Institute for Occupational safety and Health, Dortmund, Germany for the World Health Organization, Geneva

WORKING GROUP RAILWAY NOISE OF THE EUROPEAN COMMISSION. **Position Paper on the European strategies and priorities for railway noise abatement**. European Communities, 2003. Acesso em 8 de novembro de 2011. Disponível em: <<http://ec.europa.eu/transport/rail/ws/doc/position-paper.pdf>>.

XIAOAN, G., **Railway environmental noise control in China**, Journal of Sound and Vibration, Volume 293, Issues 3–5, 13 June 2006, Pages 1078-1085.

ZANNIN, P. H. T.; ENGEL, M. S.; FIEDLER P. E. K.; BUNN F., **Characterization of environmental noise based on noise measurements, noise mapping and interviews: A case study at a university campus in Brazil**, Cities, 2012.

ZANNIN, P. H. T.; SANT'ANA, D. Q., **Noise mapping at different stages of a freeway redevelopment project – A case study in Brazil**, Applied Acoustics, Volume 72, Issue 8, July 2011, Pages 479-486.

ZANNIN, P.H.T., CALIXTO, A.; DINIZ, F. B. D.; FERREIRA, J. A. C.; SCHULLER R. **Incômodo Causado pelo Ruído Urbano à População de Curitiba**, PR. Revista de Saúde Pública, São Paulo, v.36, n. 4, p. 521-524, 2002.

CESCA, H. **A cada dois dias, um choveu em Curitiba no último ano.** Vida e cidadania – Gazeta do povo, CURITIBA, 2011. Disponível em <<http://www.gazetadopovo.com.br/vidaecidadania/conteudo.phtml?tl=1&id=1205428&tit=A-cada-dois-dias-um-choveu-em-Curitiba-no-ultimo-ano>>. Acesso em 13 de março de 2013.

SOUNDPLAN. SoundPLAN Acoustics 2013. Disponível em <<http://www.soundplan.eu/english/soundplan-acoustics/>>. Acesso em 13 de março de 2013.

SEONG, J. C., PARK, T. H., KO, J. H., CHANG, S. I., KIM, M., HOLT, J. B., & MEHDI, M. R.. Modeling of road traffic noise and estimated human exposure in Fulton County, Georgia, USA. Environment international, 37(8), 1336-1341, 2011.

APÊNDICE – TEMPO DE CÁLCULO DOS MAPAS DE RUÍDO

Tempo de cálculo – Mapas acústicos Ramal Jardim Botânico

Ramal Jardim Botânico	Tempo de cálculo
Ponto 01	253 minutos
Ponto 02	69 minutos
Ponto 03	57 minutos
Ponto 04	97 minutos
Ponto 05	257 minutos
Ponto 06	165 minutos
Ponto 07	56 minutos
Total	954 minutos

Tempo de cálculo – Mapas acústicos Ramal Rio Branco do Sul

Ramal Rio Branco do Sul	Tempo de cálculo
Ponto 01	47 minutos
Ponto 02	47 minutos
Ponto 03	41 minutos
Ponto 04	42 minutos
Ponto 05	30 minutos
Ponto 06	30 minutos
Ponto 07	30 minutos
Ponto 08	52 minutos
Ponto 09	52 minutos
Ponto 10	52 minutos
Ponto 11	83 minutos
Ponto 12	153 minutos
Ponto 13	56 minutos
Ponto 14	56 minutos
Ponto 15	56 minutos
Ponto 16	56 minutos
Ponto 17	56 minutos
Ponto 18	134 minutos
Ponto 19	252 minutos
Total	1324 minutos

ANEXO I – LEI MUNICIPAL 10.625/02**PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA SECRETARIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE****LEI N.º 10.625**
PUBLICADA NO D.O.M em 19/12/02

"Dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem estar e do sossego público, revoga as Leis 8583 de 02 de janeiro de 1995, 8726 de 19 de dezembro de 1996, 9142 de 18 de setembro de 1997, e dá outras providências."

A CÂMARA MUNICIPAL DE CURITIBA, CAPITAL DO ESTADO DO PARANÁ, decretou e eu, Prefeito Municipal, sanciono a seguinte lei:

Art. 1º - É proibido perturbar o sossego e o bem estar público com sons, ruídos e vibrações que causem incômodo de qualquer natureza ou que ultrapassem os limites fixados nesta lei.

Parágrafo único - As vibrações serão consideradas prejudiciais quando ocasionarem ou puderem ocasionar danos materiais, à saúde e ao bem estar público.

Art. 2º - Para os efeitos desta Lei, aplicam-se as seguintes definições:

- I. SOM: vibração acústica capaz de provocar sensações auditivas.
- II. RUÍDO: som capaz de causar perturbação ao sossego público ou efeitos psicológicos e fisiológicos negativos em seres humanos e animais.
- III. VIBRAÇÃO: movimento oscilatório transmitido pelo solo ou por uma estrutura qualquer.
- IV. POLUIÇÃO SONORA: emissão de som ou ruído que seja, direta ou indiretamente, ofensiva ou nociva à saúde, à segurança e ao bem estar da coletividade ou transgrida as disposições fixadas nesta lei.
- V. RUÍDO IMPULSIVO: som de curta duração, com início abrupto e parada rápida, caracterizado por um pico de pressão de duração menor que um segundo.
- VI. RUÍDO CONTÍNUO: som com flutuação de nível de pressão sonora tão pequena, que pode ser desprezada dentro do período de observação.
- VII. RUÍDO INTERMITENTE: som cujo nível de pressão sonora cai abruptamente ao nível sonoro do ambiente, várias vezes durante o período de observação, desde que o tempo em que o nível sonoro se mantém constante e diferente daquele

do ambiente seja de ordem de grandeza de um segundo ou mais.

VIII. RUÍDO DE FUNDO: sons emitidos durante o período de observação, que não aquele objeto da medição.

IX. NÍVEL EQUIVALENTE (Leq): nível médio de energia do som, obtido integrando-se os níveis individuais de energia em um período de tempo e dividindo-se pelo período.

X. **dB** (Decibel): unidade de medida do nível de ruído.

XI. **dB(A)**: curva de avaliação normalizada e adaptada à capacidade de recepção da audição humana.

XII. ZONA SENSÍVEL À RUÍDO OU ZONA DE SILÊNCIO: é aquela que, para atingir seus propósitos, necessita que lhe seja assegurado um silêncio excepcional. Define-se como zona de silêncio a faixa determinada pelo raio de 200,00m (duzentos metros) de distância de hospitais, escolas, bibliotecas públicas, hotéis, postos de saúde ou similares.

XIII. LIMITE REAL DA PROPRIEDADE: aquele representado por um plano imaginário que separa a propriedade real de uma pessoa física ou jurídica de outra.

XIV. SERVIÇO DE CONSTRUÇÃO CIVIL: qualquer operação de escavação, construção, demolição, remoção, reforma ou alteração substancial de uma edificação, estrutura ou obras e as relacionadas a serviços públicos tais como energia elétrica, gás, telefone, água, esgoto e sistema viário.

Art. 3º - Para fins de aplicação desta Lei, ficam definidos os seguintes períodos:

I. DIURNO: das 07h01 às 19:00h;

II. VESPERTINO: das 19h01 às 22h00;

III. NOTURNO: das 22h01 às 07h00.

Art. 4º - Para os efeitos desta Lei, a medição do nível de pressão sonora deverá ser efetuada de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

Parágrafo único - A medição pode ser realizada a 5,00m (cinco metros) de qualquer uma das divisas do imóvel gerador do incômodo, ou em qualquer ponto dentro do limite real do imóvel que sofre o incômodo.

Art. 5º - A emissão de sons e ruídos por quaisquer atividades industriais, comerciais, prestação de serviços, religiosas, sociais, recreativas e de carga e descarga não podem exceder os níveis de pressão sonora contidos na Anexo I, que é parte integrante desta Lei.

§ 1º - No caso de criação de Setores Especiais, conforme previsto na Lei Municipal 9800/2000, caberá a Secretaria Municipal do Meio Ambiente estabelecer os níveis de pressão sonora admissíveis, por meio de regulamentação própria.

§ 2º - Quando a fonte poluidora e o imóvel que sofre o incômodo estiverem localizados em diferentes zonas de uso e ocupação do solo, serão considerados os limites estabelecidos para a zona em que se localiza a propriedade que sofre o incômodo.

§3º- Quando a propriedade que sofre o incômodo tratar-se de escola, creche, biblioteca pública, hospital, ambulatório, casa de saúde ou similar com leitos para internamento, hotel ou similar, devem ser atendidos os limites estabelecidos para **ZR-1**, independentemente da zona de uso e deve ser observado o raio de 200m (duzentos metros) de distância, definida como zona de silêncio.

Art. 6º - Os sons e ruídos produzidos pelos serviços de construção civil devem respeitar os limites máximos estabelecidos na Anexo II, que é parte integrante desta Lei.

Parágrafo único - Excetuam-se destas restrições as obras e os serviços urgentes e inadiáveis decorrentes de casos fortuitos ou de força maior, acidentes graves ou perigo iminente à segurança e ao bem estar da comunidade, bem como o restabelecimento de serviços públicos essenciais, tais como energia elétrica, gás, telefone, água, esgoto e sistema viário.

Art. 7º - A emissão de som ou ruídos produzidos por veículos automotores, aeroplanos e aeródromos e os produzidos no interior dos ambientes de trabalho, devem obedecer as normas expedidas respectivamente pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente e pelos órgãos competentes do Ministério da Aeronáutica e Ministério do Trabalho.

Parágrafo Único - No tocante à emissão de ruído por veículos automotores, o Município pode estabelecer, por meio de regulamentação específica, critérios de controle considerando o interesse local.

Art. 8º - A realização de shows, concertos e apresentações musicais de caráter cultural e artísticos, em áreas públicas ou particulares, dependem de prévio licenciamento ambiental da Secretaria Municipal do Meio Ambiente, independente de outras licenças exigíveis.

Parágrafo único - Cabe a Secretaria Municipal do Meio Ambiente e Secretaria Municipal de Urbanismo estabelecer em regulamentação própria, as condições para realização dos eventos musicais mencionados no *caput* deste artigo.

Art. 9º - A utilização das áreas dos parques e praças municipais com uso de equipamentos sonoros, alto falantes, fogos de artifício ou outros meios que possam causar poluição sonora dependem de prévio licenciamento ambiental da Secretaria Municipal do Meio Ambiente, independente de outras licenças exigíveis.

Art. 10 - Fica proibida a utilização de equipamentos sonoros fixos ou móveis, como meio de propaganda ou publicidade, nos logradouros públicos.

§ 1º - Quando não se tratar de logradouros públicos, a utilização de equipamentos sonoros como meio de propaganda e publicidade deve respeitar os limites estabelecidos no anexo I desta lei.

§ 2º - Não será concedida autorização para uso de equipamentos sonoros em veículos de empresas de distribuição e comercialização de gás, ficando vedado o uso de alto-falantes e outras fontes de emissão sonora nos veículos destinados ao transporte do produto.

§ 3º - Casos especiais poderão ser analisados e eventualmente autorizados pela Secretaria Municipal do meio Ambiente.

Art. 11 - Não se compreende nas proibições dos artigos anteriores ruídos e sons produzidos:

- I - pelas manifestações tradicionais do carnaval e Ano Novo;
- II - por vozes ou aparelhos usados na propaganda eleitoral ou manifestações trabalhistas, para os quais será estabelecido regulamento próprio pelos órgãos competentes, considerando as legislações específicas;
- III - por sinos de igrejas ou templos religiosos, desde que sirvam exclusivamente para indicar as horas ou anunciar a realização de atos ou cultos religiosos;
- IV - por fanfarras ou bandas de músicas em procissão, cortejos ou desfiles cívicos;
- V - por sirenes ou aparelhos de sinalização sonora utilizados por ambulâncias, carros de bombeiros ou viaturas policiais;
- VI - por explosivos utilizados no arrebetamento de pedreiras, rochas ou nas demolições, desde que detonadas no período diurno e previamente licenciados pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente;
- VII - por alarme sonoro de segurança, residencial ou veicular, desde que o sinal sonoro não se prolongue por tempo superior à 15 minutos;
- VIII - por culto religioso, realizado no período diurno e vespertino, desde que não ultrapasse o limite de **65 dB(A)**.
- IX - por shows, concertos e apresentações musicais de caráter cultural e artístico, desde que realizados dentro das condições autorizadas pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente.

Art. 12 - As atividades potencialmente causadoras de poluição sonora, definidas em regulamento próprio, dependem de prévio licenciamento ambiental da Secretaria Municipal do Meio Ambiente para obtenção dos alvarás de construção e funcionamento.

Art. 13 - A queima de fogos de artifício fica sujeita ao controle da Secretaria Municipal do Meio Ambiente, que aplicará as sanções previstas na presente Lei, quando constatado incômodo à vizinhança.

Art. 14 - Para a execução de testes de fabricação ou instalação de alarmes sonoros, devem ser utilizados dispositivos de controle, de forma que não seja necessária a emissão sonora acima dos limites estabelecidos na Tabela I desta Lei.

Parágrafo único - Em caso de acionamento periódico ou constante de alarmes sonoros serão aplicadas as sanções previstas nesta Lei, independente da obrigação de cessar a transgressão.

Art. 15 - Os fiscais da Secretaria Municipal do Meio Ambiente, no exercício da ação fiscalizadora, tem a entrada franqueada nas dependências da fonte poluidora, onde podem permanecer pelo tempo que se fizer necessário.

Parágrafo Único - Os fiscais da Secretaria Municipal do Meio Ambiente podem solicitar o auxílio das autoridades policiais no desempenho da ação fiscalizadora.

Art. 16 - As pessoas físicas e jurídicas, de direito público ou privado, que infringirem qualquer dispositivo desta Lei, seus regulamentos e demais normas dela decorrentes, ficam sujeitas às seguintes sanções, independente da obrigação de cessar a transgressão:

- I. Notificação por escrito;
- II. Multa simples ou diária;
- III. Cassação da Licença Ambiental;
- IV. Embargo;
- V. Interdição parcial ou total;
- VI. Perda ou restrição de incentivos e benefícios fiscais concedidos pelo Município.

Art. 17 - Para imposição da sanção e graduação da multa a autoridade ambiental deve observar:

- I. As circunstâncias atenuantes e agravantes;
- II. A gravidade do fato, tendo em vista as consequências para a saúde e o meio ambiente;
- III. A natureza da infração e suas consequências;
- IV. O porte do empreendimento;
- V. Os antecedentes do infrator quanto às normas ambientais;
- VI. A capacidade econômica do infrator.

Art. 18 - Para efeito de aplicação das sanções, as infrações são classificadas como leves, graves ou gravíssimas, de acordo com a Anexo III, parte integrante desta Lei e com os critérios abaixo:

- I - LEVES - aquelas em que o infrator seja beneficiado por circunstâncias atenuantes;
- II. GRAVES - aquelas em que for verificada circunstância agravante;
- III. GRAVÍSSIMAS - aquelas em que seja verificada a persistência da reincidência.

Art. 19 - Os valores das multas serão expressos em moeda corrente nacional e para cada tipo de infração, corresponderá:

- I. Nas infrações leves - até R\$ 5.300,00 (cinco mil e trezentos reais).
- II. Nas infrações graves - de R\$ 5.301,00 (cinco mil trezentos e um reais) a R\$ 10.700,00 (dez mil e setecentos reais).
- III. Nas infrações gravíssimas - de R\$ 10.701,00 (dez mil setecentas e um reais) a R\$ 18.000,00 (dezoito mil reais).

Parágrafo único: A atualização monetária das multas dar-se-á com base na variação do Índice de Preços ao Consumidor Amplo - IPCA, medido pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, ou outro que venha ser instituído pelo Governo Federal.

Art. 20 - São circunstâncias atenuantes:

- I. Menor grau de compreensão e escolaridade do infrator;
- II. Arrependimento eficaz do infrator, manifestada pela espontânea reparação do dano, ou limitação significativa do ruído emitido;
- III. Ser o infrator primário e a falta cometida de natureza leve. Art. 21 - São circunstâncias

agravantes:

- I. Ser o infrator reincidente ou cometer a infração de forma continuada;
- II. Ter o infrator agido com dolo direto ou eventual.

§ 1º - A reincidência verifica-se quando o agente comete nova infração do mesmo tipo.

§ 2º - No caso de infração continuada caracterizada pela repetição da ação ou omissão inicialmente punida, a penalidade de multa pode ser aplicada diariamente até cessar a infração.

Art. 22 - O autuado terá direito a ampla defesa, em processo administrativo, conforme regulamentações específicas, num prazo máximo de trinta dias a partir do recebimento do auto de infração, endereçado ao Secretário Municipal do Meio Ambiente - SMMA.

Art. 23 - No caso de decisão condenatória, o autuado terá direito a recorrer da decisão, em forma de processo administrativo, num prazo máximo de trinta dias, contados a partir da ciência da condenação, encaminhado ao Conselho Municipal do Meio Ambiente - CMMA.

Art. 24 - Os recursos interpostos das decisões não definitivas terão efeito suspensivo relativo ao pagamento da penalidade, sem prejuízo da aplicação de novas autuações por reincidência ou continuidade do dano.

Art. 25 - Exauridos os recursos administrativos, o infrator terá prazo de dez dias para efetuar o recolhimento do valor da multa, sob pena da inscrição em dívida ativa.

Art. 26 - As multas previstas nesta Lei podem ter sua exigibilidade suspensa quando o infrator, por termo de compromisso aprovado pela autoridade ambiental

competente, obrigar-se à adoção imediata de medidas específicas para cessar ou corrigir a poluição sonora.

Parágrafo único - Cumpridas integralmente as obrigações assumidas pelo infrator, a multa pode ter uma redução de até 90% (noventa por cento) do valor original.

Art. 27 - Na aplicação das normas estabelecidas por esta Lei, compete à Secretaria Municipal do Meio Ambiente:

- Estabelecer o programa de controle dos ruídos urbanos e exercer o poder de controle e fiscalização das fontes de poluição sonora;
- Aplicar as sanções previstas na legislação vigente;
- Organizar programas de educação e conscientização.

Art. 28 - O Executivo Municipal regulamentará em até 90 (noventa) dias da publicação desta lei, as questões específicas à poluição sonora produzida pelo apito do trem.

Art. 29 - Ficam expressamente revogadas as Leis Municipais n.ºs 8583 de 02 de janeiro de 1995, 8726 de 19 de outubro de 1995, 8996 de 13 de dezembro de 1996 e 9142 de 18 de setembro de 1997.

Art. 30 - Esta lei entra em vigor na data de sua publicação.

PALÁCIO 29 DE MARÇO, em 19 de dezembro de 2002.

Cassio Taniguchi
PREFEITO MUNICIPAL

ANEXO I

Níveis de Pressão Sonora Máximos

ZONAS DE USO	DIURNO	VESPERTINO	NOTURNO
ZR-1, ZR-2, ZR-3, ZR-B, ZR-AV, ZR-M, APA-SARU, APA-SMRU	55 dB(A)	50 dB(A)	45 dB (A)
ZR-OC, ZR-SF, ZR-U, ZR-P, ZT-MF, ZT- NC, ZE-E, ZE-M, Z-CON, SE-CC, SE-PS, SE-OI , APA-ST	60 dB (A)	55 dB (A)	50 dB (A)
ZR-4, ZC, ZT-BR116, ZUM, ZE-D, SE, SH, SE-BR-116, SE-MF, SE-CF, SE-WB, SE-AC, SE-CB, CONEC, SE-PE, SC-SF, SC-UM, SE-NC, SEI, SEHIS, SELE, APA-SS Vias prioritárias 1 e 2, Vias setoriais, Vias coletoras 1,2 e 3	65 dB (A)	60 dB (A)	55 dB (A)
ZS-1, ZS-2, ZES, ZI, APA-SUE	70 dB (A)	60 dB (A)	60 dB (A)
Os casos não contemplados nesta tabela, serão objeto de análise específica por parte da Secretaria Municipal do Meio Ambiente			

LEGENDA:

APA-SARU Setor de Alta Restrição de Uso
 APA-SMRU Setor de Média Restrição de Uso
 APA-ST Setor de Transição
 APA-SUE Setor de Uso Esportivo
 APA-SS Setor de Serviço
 CONEC Setor Especial Conector - Conectora 1,2,3,4
 SC-SF Setor Especial Comercial Santa Felicidade
 SC-UM Setor Especial Comercial Umbará
 SE Setor Especial Estrutural
 SE-AC Setor Especial da Av. Affonso Camargo 8
 SE-BR-116 Setor Especial da BR-116
 SE-CB Setor Especial da Rua Engenheiro Costa Barros
 SE-CC Setor Especial Centro Cívico
 SE-CF Setor Especial da Av. Comendador Franco
 SEHIS Setor Especial Habitação de Interesse Social
 SEI Setor Especial Institucional
 SE-LE Setor Especial Linhão do Emprego

SE-MF Setor Especial da Av. Mal. Floriano Peixoto
SE-NC Setor Especial Nova Curitiba
SE-OI Setor Especial de Ocupação Integrada
SE-PE Setor Especial Preferencial de Pedestres
SE-PS Setor Especial do Pólo de Software
SE-WB Setor Especial da Av. Pres. Wenceslau Braz
SH Setor Histórico
ZC Zona Central
Z-CON Zona de Contenção
ZE-D Zona Especial Desportiva
ZE-E Zona Especial Educacional
ZE-M Zona Especial Militar
ZES Zona Especial de Serviços
ZI Zona Industrial
ZR-1 Zona Residencial 1
ZR-2 Zona Residencial 2
ZR-3 Zona Residencial 3
ZR-4 Zona Residencial 4
ZR-AV Zona Residencial Alto da Glória
ZR-B Zona Residencial Batel
ZR-M Zona Residencial Mercês
ZR-OC Zona Residencial de Ocupação Controlada
ZR-P Zona Residencial Passaúna
ZR-SF Zona Residencial Santa Felicidade
ZR-U Zona Residencial Umbará
ZS-1 Zona de Serviço 1
ZS-2 Zona de Serviço 2
ZT-BR-116 Zona de Transição BR - 116
ZT-MF Zona de Transição Av. Mal. Floriano Peixoto
ZT-NC Zona de Transição Nova Curitiba
Z-UM Zona de Uso Misto

ANEXO II

185

Níveis de Pressão Sonora Máximos para Serviços de Construção Civil

Atividades não confináveis	Limite de 90 dB(A), permitido somente de segunda- feira a sexta- feira, no período diurno.
Atividades passíveis de confinamento	De segunda-feira a sexta-feira, no período diurno: limites constantes na Tabela I acrescidos de 5 dB(A). De segunda-feira a sexta-feira, nos períodos vespertino e noturno: limites constantes na Tabela I,
Sábados, Domingos e Feriados, qualquer período: Devem ser respeitados os limites constantes na Tabela I, tanto para as atividades passíveis de confinamento como para as não confináveis.	

ANEXO III**Classificação das Infrações**

ARTIGOS	CLASSIFICAÇÃO	OBSERVAÇÕES
S° e 6°	Leve	Até 10(A) dB (dez decibéis) acima do limite
S° e 6°	Grave	De 10(A) dB (dez decibéis) a 30 dB (trinta decibéis) acima do limite
S° e 6°	Gravíssima	Mais de 30(A) dB (trinta decibéis) acima do limite
8°, 9° 10°, 12° e 13°	Leve	Atividade desenvolvida sem licença